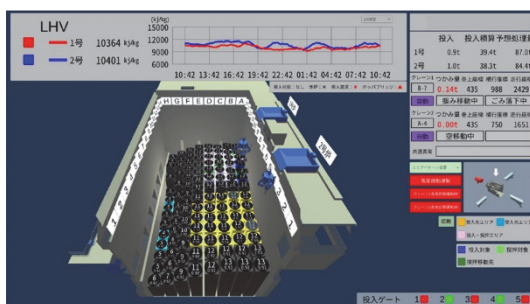


ごみ焼却施設の持続的安定運営を支える クレーン高度自動運転システムの開発

Development of Advanced Automated Crane Operation System to Support Sustainable and Stable Operation of Waste Incineration Facilities



寺沢 良則*1
Yoshinori Terasawa

百瀬 大峰*2
Hirotaka Momose

松本 慎治*3
Shinji Matsumoto

岩下 信治*4
Nobuharu Iwashita

高木 博幸*5
Hiroyuki Takaki

瀬戸口 稔彦*6
Toshihiko Setoguchi

三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社は、施設の操業安定化・省人化に大きく寄与し、更に、属人的要素を排除したごみの受入・投入・撹拌が可能なクレーン高度自動運転システムを開発した。本システムの活用により、ごみの受入・投入作業をほぼ無人化し、①撹拌回数②嵩密度③ごみの貯留滞留時間を評価要素とした総合評価点方式⁽¹⁾に基づきごみ性状を評価してごみの自動撹拌を行うことでごみの LHV 標準偏差(低発熱量:Lower Heating Value)を小さくし、主蒸気流量変動を低減できることを確認した。これらのシステムにより焼却炉の燃焼安定性が図られ、施設の持続的安定運営の一翼を担う重要なシステムが確立できると判断された。

1. はじめに

近年、ごみ焼却施設の重要なニーズの1つとして、施設の持続可能性を追求した安定稼働とコスト削減の両立が求められている。また、ベテラン運転員の不足、感染症蔓延時への対応、温暖化防止に繋がる CO₂ 排出抑制にも係る安定稼働をコスト抑制しながら達成する上で運転支援システムが必要不可欠なものとなっている。このような中、三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社(以下、当社)ではごみの受入・投入作業をほぼ完全無人化でき、更に、①撹拌回数②嵩密度③ごみの貯留滞留時間を評価要素とした総合評価点方式に基づきごみ性状を評価してごみの自動撹拌を行うことでごみの LHV 標準偏差を小さくし、主蒸気流量変動を低減できるクレーン高度自動運転システムを開発した^{(2), (3)}。ここでは、これらのシステムについてこれまでに得られた実機検証成果について報告する。

2. クレーン高度自動運転システム概要

クレーン高度自動運転システム処理の概要を図1に示す。“プラント情報”を与条件として、“経路探索”・“(ピットごみ)の3次元戸籍管理”・“搬入最適化”の各機能が連動することで、時々刻々と変化するプラント運用ニーズを自動最適化する。これにより、ごみ搬入から焼却炉へのごみ投入迄の運用の省人化、ごみピットの安定操業、焼却炉燃焼の安定化が可能となる。

ごみ山高さは LiDAR(ライダー:Light Detection and Ranging)によりごみピット全エリアが測定される。経路探索では、1台及び2台のごみクレーンが行う受入・撹拌・ホップ投入の動作を自動化する。更に、クレーン高度自動運転システム(図2)にクレーン制御情報を送信することで、ピット内のごみ山高さ、戸籍管理システムの計算状況、ホップ投入要求の有無、及びクレーンの運転状態

*1 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括部 デジタルイノベーション・開発部

*2 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 エンジニアリング統括部 プロジェクト部

*3 三菱重工工業株式会社 総合研究所 燃焼研究部 主席研究員

*4 三菱重工工業株式会社 総合研究所 制御システム研究部 主席研究員

*5 三菱重工工業株式会社 総合研究所 制御システム研究部 主席 T 統括

*6 MHI ソリューションテクノロジーズ株式会社 BPS 部 部長 工博

を監視することが可能となる。3次元戸籍管理は、ピット内を座標に区切り、座標ごとにごみ質を総合評価点としてリアルタイムで計算・数値化し、ごみ質を定量評価できる専用DBで管理する機能である。総合評価点(=K1×攪拌回数+K2×かさ比重+K3×滞留時間)は攪拌回数、かさ比重、滞留時間に、ごみ焼却施設の地域性・季節などの変化に応じて、K1~K3の重み付け係数を調整することで求められるごみの均質化を示す指標である⁽¹⁾。搬入最適化では経路探索と連携し、パッカー車の適切な誘導先を計算することで、搬入車の自動誘導だけでなく、受入元ごみ山高さの均等化とプラットフォーム混雑緩和の相反する課題に対応した運用が可能となる。また、本システムは、総合評価点に基づく自動攪拌機能を有しピットごみの均質化を図り、燃焼安定性に寄与することができる。

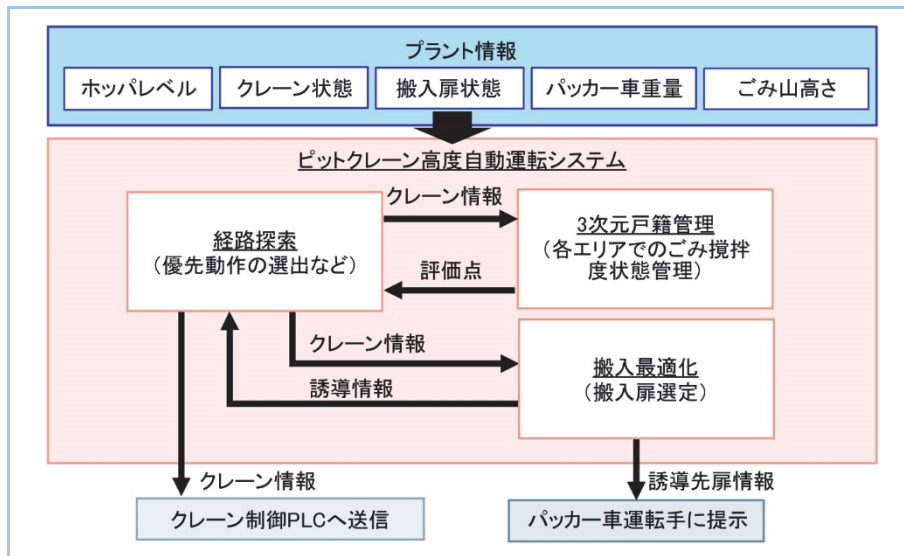


図1 システム処理の概要

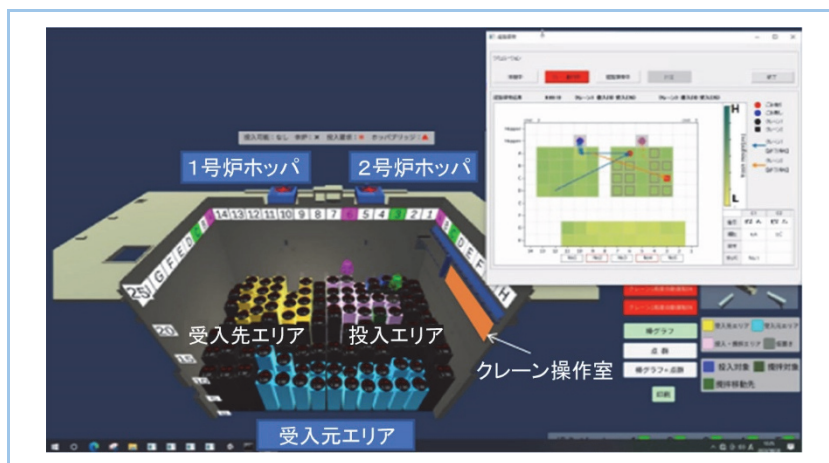


図2 クレーン高度自動運転システム

3. クレーン高度自動運転システム性能検証結果

図3にごみピットエリア構成を示す。搬入車からのごみはごみ受入元エリアに投入され、クレーンにて受入先エリアへ積替えられ、適宜攪拌される。投入エリアのごみは当日の焼却炉への供給ごみとなる。また、受入先エリアのごみは翌日の焼却炉への供給ごみとして用いられる。本システムを用いて、A焼却施設にて1週間にわたり実施した完全自動ごみ受入・投入運転とごみ自動攪拌機能の検証結果について次節に示す。A焼却施設仕様を表1に示す。

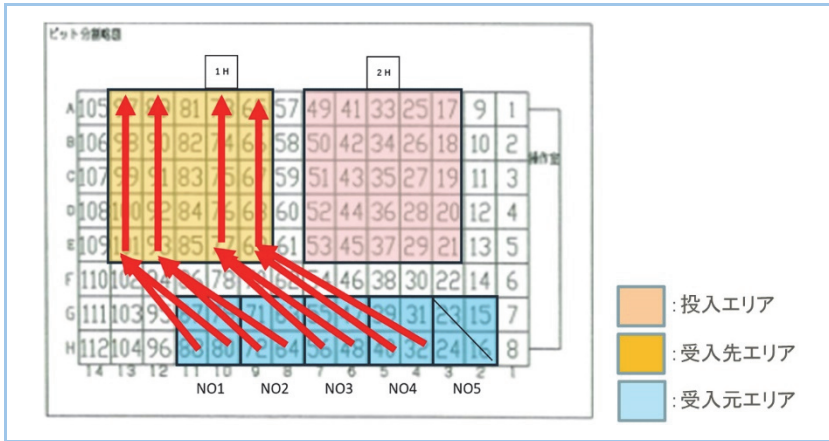


図3 ごみピットエリア構成

表1 焼却施設仕様

焼却能力	182トン/日
炉数	2 炉
炉形式	ストーカ式

3.1 ごみ受入・投入・完全自動運転性能

ごみ焼却施設の受入・供給設備へのごみ搬入は月～土曜日にかけて行われ、1 週間をワンサイクルとして通年にわたって、主としてパッカー車により収集ごみが搬入される。この様な環境下においてクレーン高度自動運転システムを用いてクレーン 2 台同時運転による 1 週間にわたるごみ受入・投入検証を行った。その結果、図 4 のようにいずれの曜日も受入元エリアのごみ山高さが管理レベルを超えることなしに約 1m の余裕を残してごみ受入・投入自動運転が可能であった。このときの手動操作介入率は 4.6% となり、ほぼ完全自動受入・投入ができることを確認した(図 5)。なお、4.6% 手動操作内容はごみピットに不定期に入る粗大破砕可燃物ばら撒きとピットエリア均し作業である。また、図 6 に示すように、各曜日で搬入台数が変動する中、パッカー車の投入扉前での待機時間は 50～60 秒で管理できており、大型パッカー車の渋滞発生もなかった。

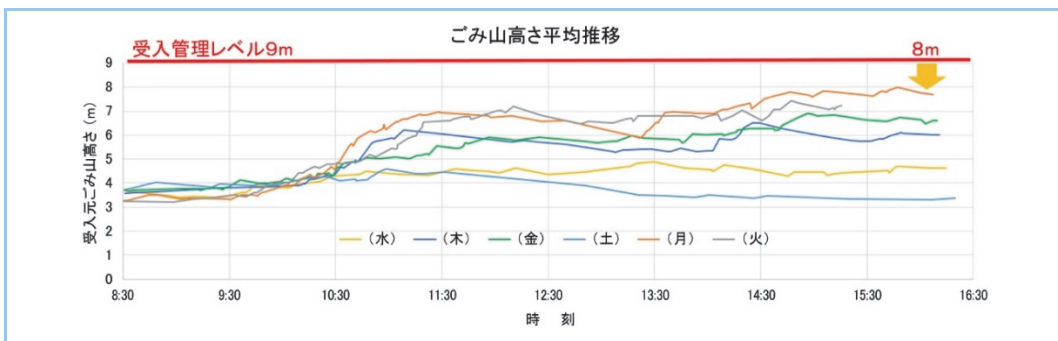


図4 ごみ受入元エリアのごみ山高さ推移

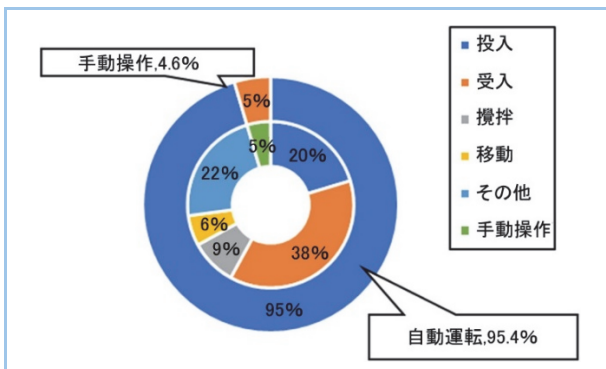


図5 自動運転率

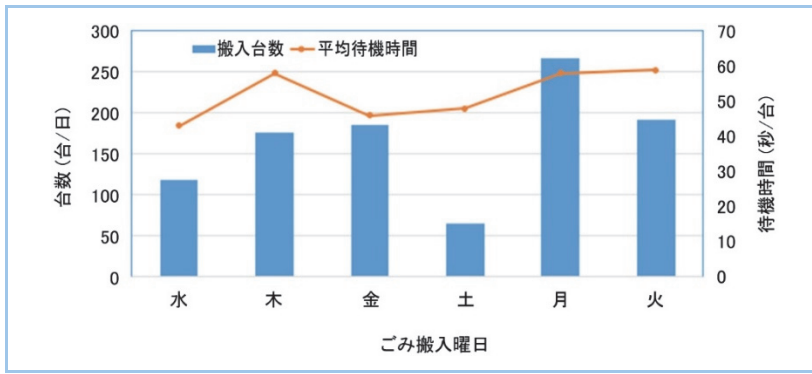


図6 各曜日のパッカー車台数と投入扉前平均待機時間

3.2 ごみ自動攪拌性能

ピットに貯留されたごみを十分に攪拌し、均質化して焼却処理することで、ボイラ蒸発量、排ガス性状の変動が小さくなり焼却炉性能が安定することが期待できる。ごみ自動攪拌方法は次のとおり行った。各エリアのエリア番地ごとの総合評価点の情報に基づき、総合評価点が低いエリア番地のごみを高いところへばら撒いて攪拌する。このような攪拌は、ごみ受入・投入操作と並行して実施され、基本の操作としては、受入先エリアを優先して次の日の受入開始前まで攪拌を進め、この攪拌されたエリアが次の日のごみ投入エリアとなる。今回このような思想の基に約24時間にわたりごみを自動攪拌して、そのごみを用いて自動攪拌による燃焼性向上について検証した。

その結果を以下に示す。図7に総合評価点、LHV変動係数、蒸気流量変動の関係を示す。攪拌が進み総合評価点が高くなるに連れて、LHV変動係数(LHV σ /LHV μ)が小さくなり、ごみが均質化する。一方、LHV変動係数が小さくなり、ごみの均質化に伴って、主蒸気流量変動(((PV-SV)/SV) σ)も小さくなり、燃焼安定性が向上することが分かる。また、図8に総合評価点標準偏差と主蒸気流量変動の関係を示す。これから、主蒸気流量変動を少なくするための因子としては総合評価点を高くするだけでなく、総合評価点の変動を少なくすることも重要と考えられた。一方、図9に自動攪拌有無での燃焼性能評価を示す。自動攪拌ありの場合は、自動攪拌なしの場合と比較して、蒸発量変動で16%、CO、NO $_x$ ではそれぞれ17%、40%変動が低減でき、自動攪拌を導入することで燃焼が安定化することが分かる。

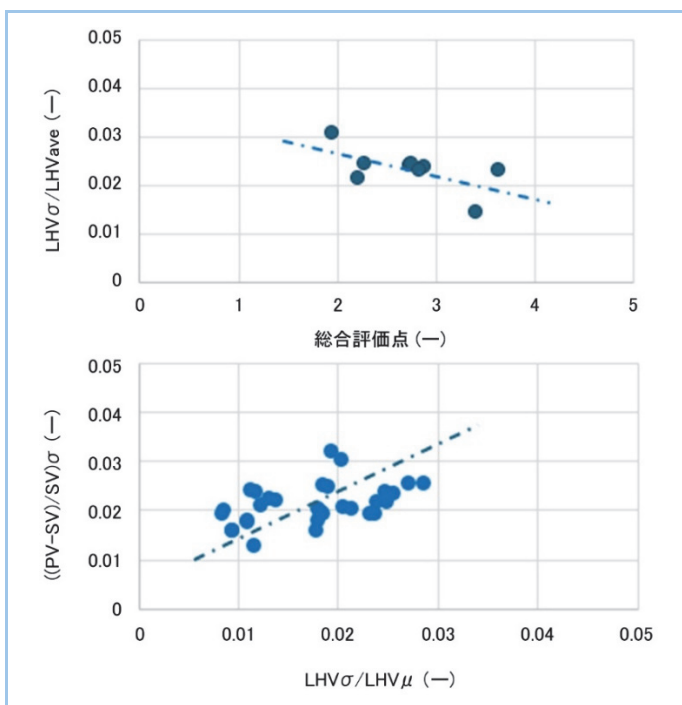


図7 総合評価点、LHV変動係数、主蒸気量変動の関係

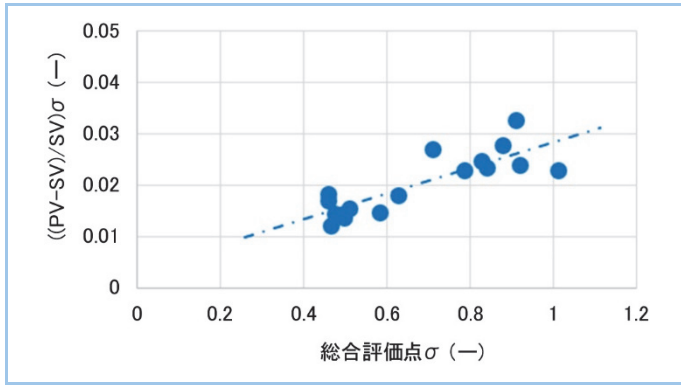


図8 総合評価点標準偏差と主蒸気変動の関係

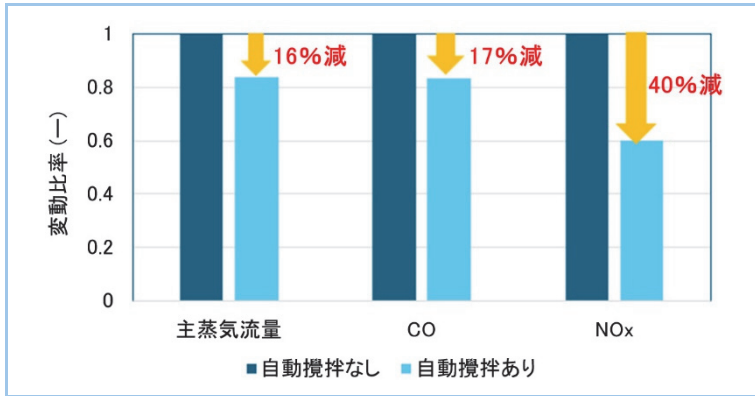


図9 自動攪拌有無での燃焼性能評価

4. まとめ

今回クレーン高度自動運転システムの搬入計画最適機能を連携させることで、搬入車の著しい渋滞がなく、ピットごみを95%以上の自動化で、ごみ受入・投入運転が可能であることが分かった。また、自動攪拌機能を使うことで、主蒸気流量、CO、NO_xの変動が低減でき、自動攪拌が安定燃焼に寄与することを確認した。以上により、クレーン高度自動運転システムを導入することにより、ごみ焼却施設運営の重要ポイントである“ごみ搬入から焼却炉へのごみ投入迄の運用の省人化”・“ごみピットの安定操業”・“焼却炉燃焼の安定化”の達成が可能であると考えられた。今後更に上記技術の信頼性を高めて、CO₂ 排出抑制などの観点も踏まえ、プラント安定化・省人化等のお客様のニーズに応える製品・サービスを提供していきたい。

参考文献

- 後藤善則他, ごみの攪拌・供給支援システムの開発, 第41回全国都市清掃研究・事例発表会 (2020) p.211-213
- 郡司駿ほか, 最適経路探索によるピットクレーン高度自動運転システム, 第45回全国都市清掃研究・事例発表会 (2023) p.192-194
- 寺沢良則他, 高度自動運転システムによるごみ焼却施設運営の効率化・最適化, 廃棄物処理施設技術管理協会季刊『環境技術会誌』 No.196 7月号 (2024) p.209-212