

# ごみ焼却施設の持続可能性を支援する AI 遠隔監視・運転支援システム MaiDAS<sup>®</sup>

AI Remote Monitoring and Operation Support Systems MaiDAS<sup>®</sup>  
for the Sustainability of Waste to Energy plants



寺沢 良則<sup>\*1</sup>  
Yoshinori Terasawa

鈴木 航<sup>\*2</sup>  
Wataru Suzuki

江草 知通<sup>\*3</sup>  
Tomomichi Egusa

林 慶一<sup>\*4</sup>  
Keiichi Hayashi

山岡 祐太郎<sup>\*5</sup>  
Yutaro Yamaoka

瀬戸口 稔彦<sup>\*6</sup>  
Toshihiko Setoguchi

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、施設運転を司る重要機器の健全性を保ちながら蒸発量、排ガス濃度の出力値を最適化すると同時に属人的要素を排除した高度自動運転化が可能な次世代型の AI 遠隔監視・運転支援システム MaiDAS<sup>®</sup>を開発した。本システムを活用して LHV(Low Heating Value)、ごみ供給量、燃焼状態などをリアルタイムに予測し、制御する高度自動化運転により運転時の手動回数的大幅な削減が可能で、主蒸気流量も安定化できることを確認した。上記システムに加え既開発済のごみピット攪拌・供給支援システムを高度化することで、ごみ焼却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1つのニーズとして、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、感染蔓延時への対応、温暖化防止に繋がる CO<sub>2</sub> 排出抑制にも係る安定稼働とコスト削減を両立していく上で、これまで以上に遠隔からの運転支援が必要不可欠なものとなりつつある。このような中、当社では複数の焼却施設の運転状況を一元管理すべく、クラウドを活用して運転関連データを集約し、得られたノウハウを水平展開することによって焼却施設運営の高度化・効率化を可能とする、ごみ焼却施設最適運営のための AI 遠隔監視・運転支援システム MaiDAS<sup>®</sup>(マイダス)を開発した<sup>(1),(2)</sup>。また、更なる燃焼安定性向上のために既開発済のごみピット攪拌・供給支援システム<sup>(3)</sup>にクレーン自動化機能を付帯したシステムの高度化を推進中である。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成果について報告する。

## 2. システム概要

現在運用している遠隔監視・運転支援システムは、2005年に納入したガス化熔融ごみ処理施設を皮切りに、その後、DBO(Design Build Operate)方式のごみ処理施設を中心に導入を進め、現在国内8施設と接続して運用している。2018年度よりセキュリティを確保したクラウド上に実装した AI モデルを活用してシステム全体の高度化を進めており、機械学習、特に深層学習などの AI

\*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イゼーション・開発部 主席

\*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デジタイゼーション・開発部 主席 技術士(情報工学部門、総合技術監理部門、経営工学部門)

\*3 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イゼーション・開発部 グループ長 技術士(上下水道部門、総合技術監理部門)

\*4 三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 国内事業部 SPC 運営推進部 グループ長

\*5 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設計部 技術士(衛生工学部門)

\*6 三菱重工工業株式会社 総合研究所 燃焼研究部 主幹研究員 工博

技術, 更に, IoT などネットワーク技術を融合した次世代型の AI 遠隔監視・運用支援システム MaiDAS®(図1)を構築している。MaiDAS®では, 図2に示す通り, サブシステムごとに共通性を確保するとともに, フルセットでの提供だけでなく, サブシステムを絞った提供など, お客様ごとのニーズに沿った形での提供を選べる仕組みを導入している。以下にその中で主要なサブシステムである MaiDAS® Dashboard, MaiDAS® Visualizer, 及び MaiDAS® Navigator について紹介する。また, 当社は, これらを運用することで操作介入を限りなくゼロとする高度自動化運転を目指している。MaiDAS®は日本における三菱重工環境・化学エンジニアリング(株)の登録商標(商標登録第 6333918 号)である。

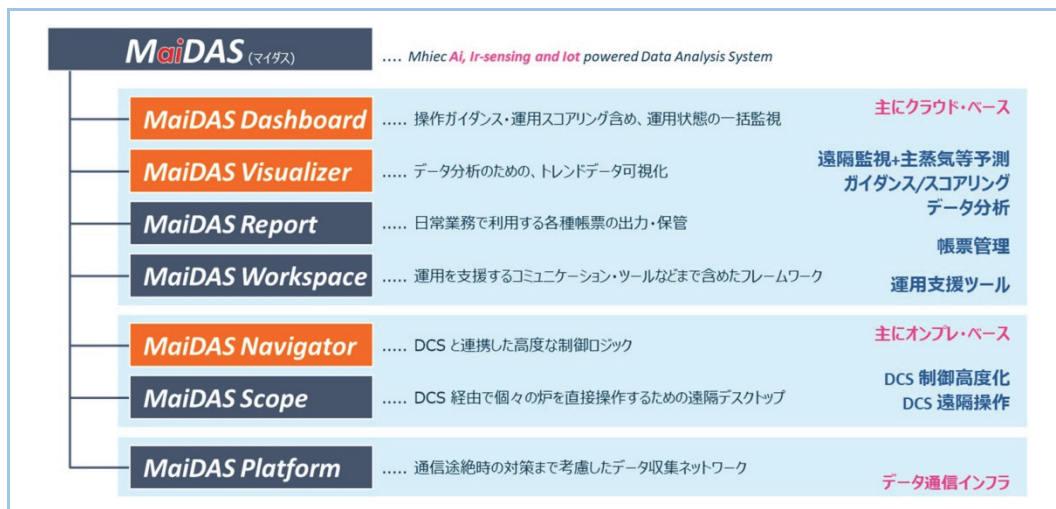


図1 AI 遠隔監視・運用支援システム MaiDAS®構成

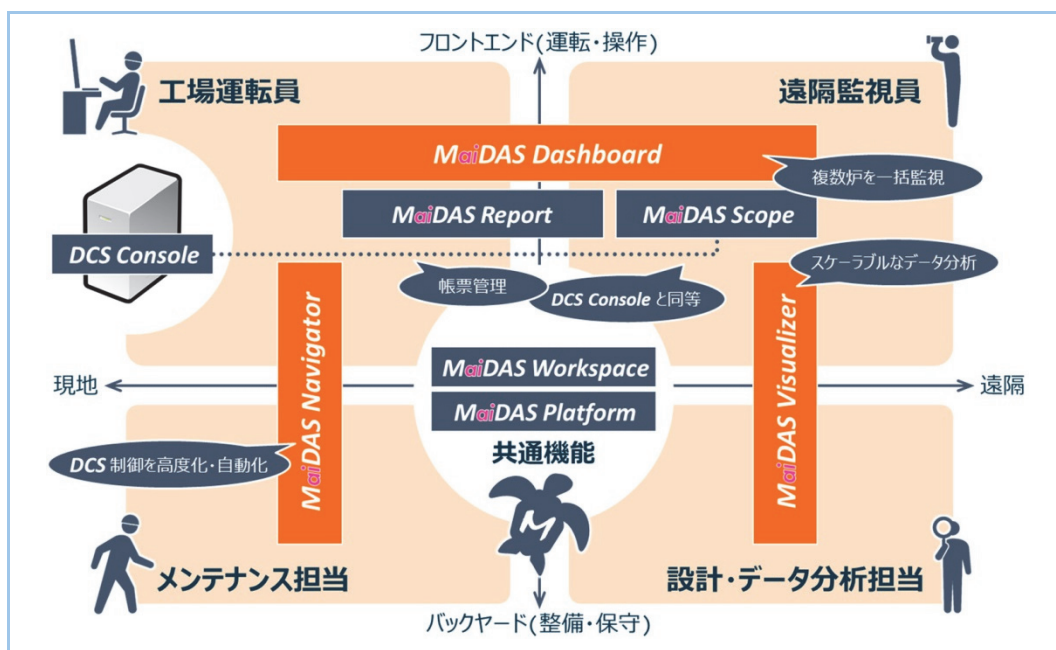


図2 MaiDAS®サブシステムの位置付け

### 3. MaiDAS® Dashboard 及び MaiDAS® Visualizer

図3に本システムで目指す高度自動化運転の概念を示す。この概念は“安定化”及び“自動化”からなり, 前者は“的確に状況を把握して先手を打つための主蒸気流量などの予測”及び“突発イベントの自動検知”とからなり, 後者は“処置遅れ回避のための操作ガイダンス”及び“定量評価のための運転スコアリング”とからなる。また, 現地側のサブシステム(MaiDAS® Navigator 後述)とクラウド側のサブシステム(MaiDAS® Dashboard)の連携により, 個々のサイトに適した高度自動化を達成できる。システム経由で得られた運用データや運転支援ノウハウの活用により, ごみ焼

却施設の高度自動化運転(機器寿命に配慮して性能最大化を図った自動化運転)や属人的要素を排除した運転管理(誰でも間違いなく、安全に高品質で均質な運転・メンテナンス)を目指している。現地から取得したデータを MaiDAS® Visualizer によりリアルタイムで見える化・分析し、MaiDAS® Dashboard (図4)ではこれら取得されたデータからモデルを構築して、運転状態を3つのスコア(運転スコアリング)①操作スコア②出力スコア③機器スコアで評価し、蒸発量予測値提示、突発イベント(ごみの塊状供給など)発生も自動検知できる。図5に運転スコアリングの概念を示した。①操作スコアは運転操作②出力スコアは蒸発量、排ガス濃度の出力値③機器スコアはファンなど施設運転を司る重要機器の健全性を示し、これらのバランスを取りながら運転状態を評価し、運転安定化を図ることを目的としている。

これらのシステムを通じて、機械学習によるプロセスデータ(主蒸気流量、ごみ発熱量など)の予測を行い、数分後の状態をオペレータに通知し、深層学習を利用した異常検出モデルを利用して、ごみ投入の異常などを即座に検出することが可能となる。図6に主蒸気流量予測の事例を示した。これらのモデルはクラウド上に保持されているため、炉の運転を継続しながらでもモデルの改良やメンテナンスが可能である。また、これらの運転ガイダンスと、それに従ったオペレーション結果を相互に検証して、ガイダンスモデルを継続的に改良することで、持続可能性を追求した安定運転性と経済性の両立が可能なごみ焼却施設での高度自動化運転の実現と効率的な運営・運転管理ができる。



図3 高度自動化運転の概念

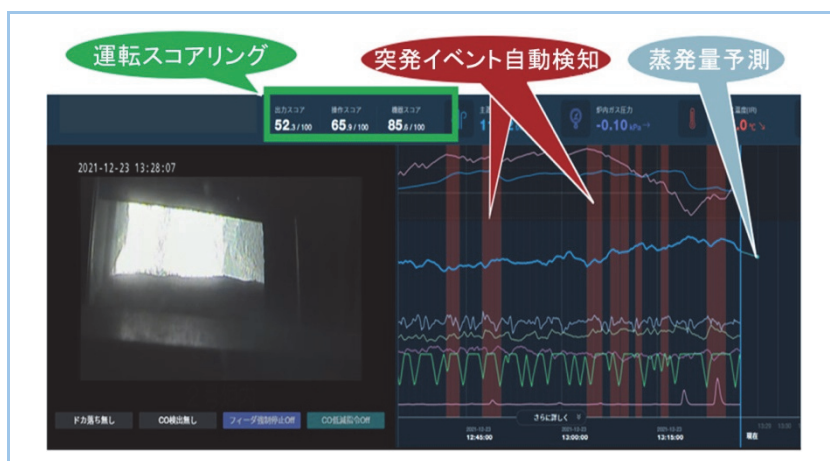


図4 MaiDAS®Dashboard

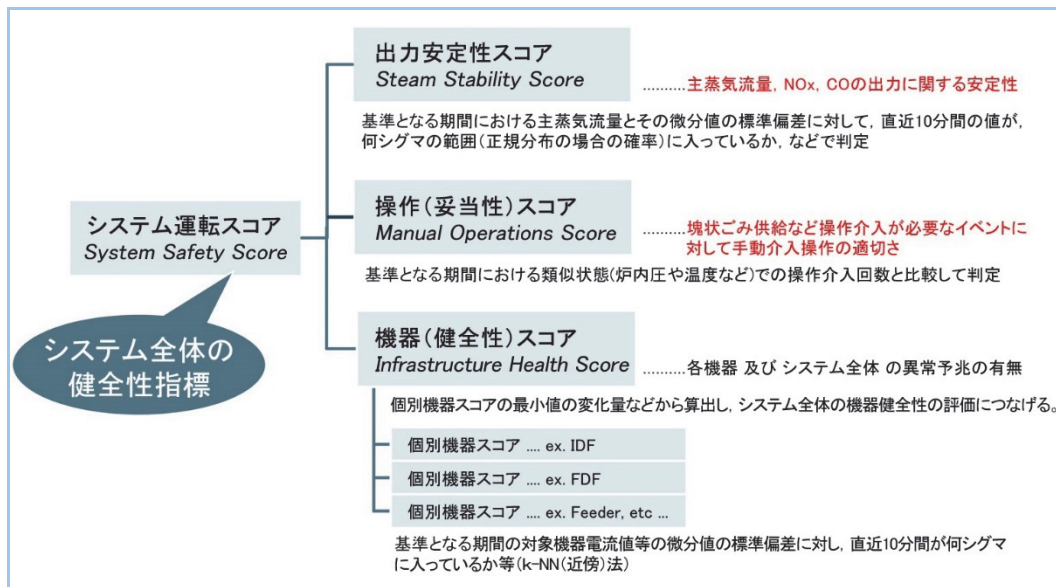


図5 運転スコアリングの概念

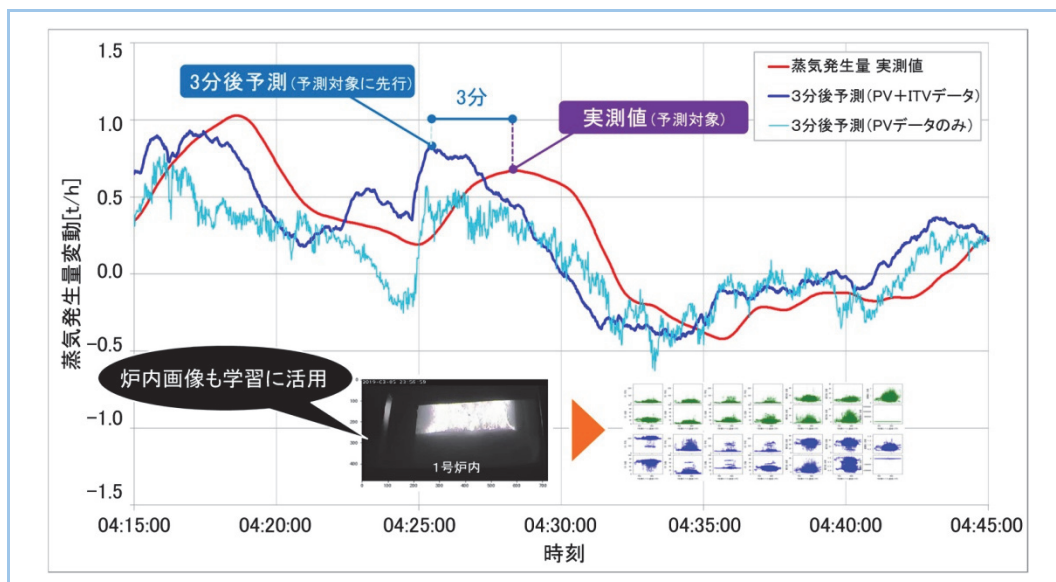


図6 MaiDAS® Visualizer による主蒸気流量予測

#### 4. MaiDAS® Navigator

ごみ焼却施設で安定したごみ処理、発電を行うには、ごみ性状の変動や燃焼領域へのごみ供給量の変動に対して、安定燃焼状態を維持することが必要となる。通常は既存燃焼自動化システム(ACC:Automatic Combustion Control)により安定したごみ焼却発電を実現しており、自動化範囲を超えたごみ性状、供給量の変動に対しては熟練運転員の手動操作により、安定した設備運用を実現している。今回開発した MaiDAS® Navigator は図7に示すように、ごみ質、ごみ供給状況を特殊計測データ(ごみ水分、ごみ層画像、燃焼火炎画像)とプラントデータを活用してDCS(Distributed Control System 分散制御システム)制御を高度化し、手動操作を自動化する燃焼制御・運転支援サブシステムである。燃焼状態安定化のために、ごみ供給状態、燃焼状態を迅速かつ適切に評価し、その状態に基づいて制御する。自動運転中でも運転員が一目で運転状況を把握することを可能としている。更に、クラウドを通じて MaiDAS®システムと連携することで、高度自動運転の精度向上を図っている。

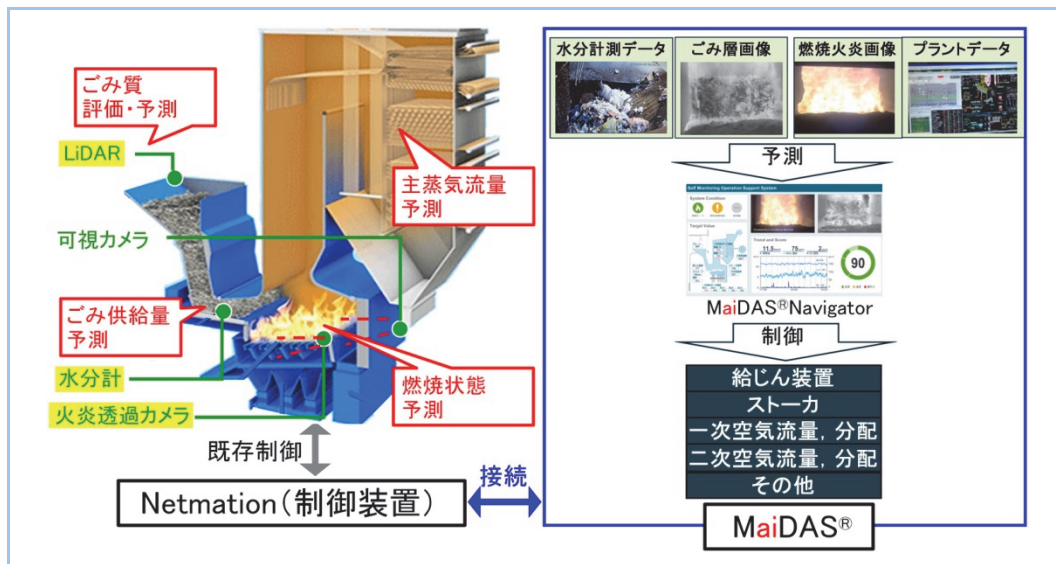


図7 MaiDAS® Navigator の構成

MaiDAS® Navigator の特殊計測による結果を図8に示す。図8-1では、ホップシュート側面に水分計測装置を配置し、その部分を通過するごみに照射した電磁波の減衰率に基づき、シュートを通過するごみの水分量と LHV が算出可能となった。図8-2では、フィーダ上のごみ層画像よりごみ供給の際の崩落規模を算出し、ごみ供給量を予測した。燃焼火炎画像の活用では、火炎画像から機械学習により特徴量を抽出し、プラントデータと画像特徴量と燃焼状態の関係を機械学習することで、燃焼状態をリアルタイムに予測できる。その結果を図8-3に示した。また、図8-4に示したように、上記で算出されたホップ内 LHV、燃焼状態データ、プラントデータ、燃焼火炎画像、ごみ層画像と主蒸気流量の関係を機械学習することで、主蒸気流量をリアルタイムに予測可能となる。また、これらの予測値を制御量の補正に加えた高度自動化運転では図9に示したように手動操作回数を 90%削減することが可能で、更に、主蒸気流量も安定化できることを確認した。

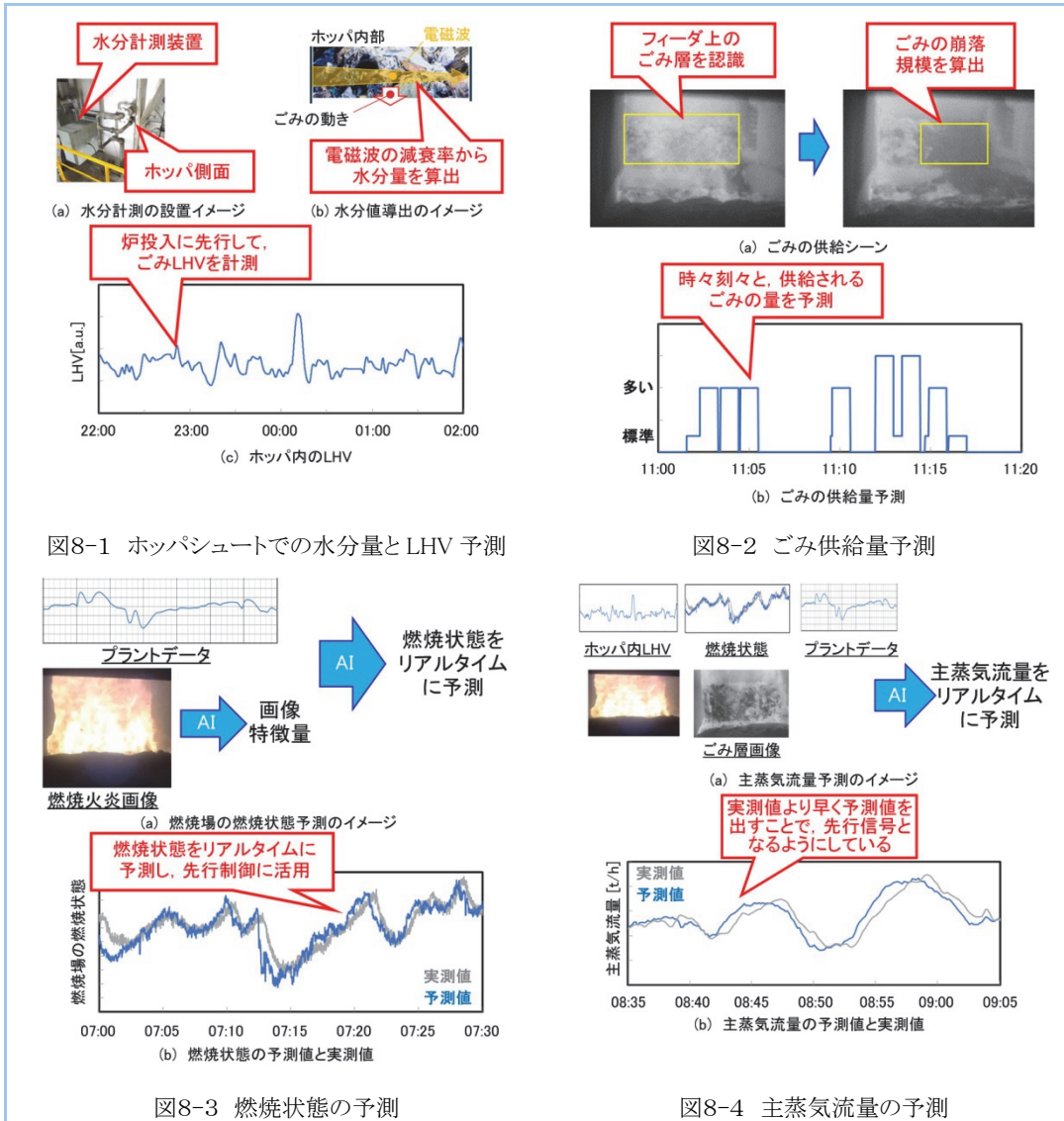


図8 特殊計測結果

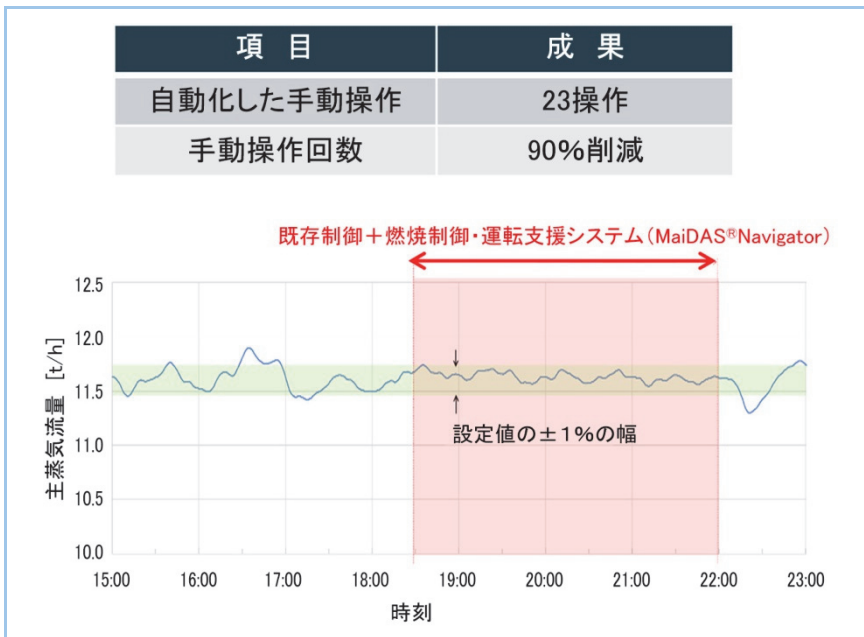


図9 高度自動化運転での主蒸気流量安定化

## 5. ごみピット攪拌・供給支援システムの高度化

本システム構築に当たっては、始めにクレーン運転について作業分析を行い時刻ごとの業務負荷を可視化するとともにごみクレーンの作業内容についてアンケート調査などを行った。その結果、ごみ攪拌状態を“攪拌回数”，“見掛比重”，“滞留時間”の三要素で数値評価し，更に各要素に重み付けを行い，攪拌状態を表す総合評価点(=K1×攪拌回数評価点+K2×見掛比重評価点+K3×滞留時間評価点)方法を決定した<sup>(3)</sup>。図10にごみピット攪拌・供給支援システムを示す。ごみの受入れ状態に応じたクレーン自動運転ロジック及び上述のごみ攪拌度によるごみ質の評価方法に基づく自動攪拌ロジックを構築することで，クレーン自動運転によるごみ受入れ，攪拌，供給を可能とした。図11にこれらシステムによる検証結果を示した。従来運転に対しLHVのバラつきが小さくなり，ごみ質が安定した。ごみ質が安定化することで，燃焼制御の精度が向上し，更なる安定した高度自動運転が可能となる。



図10 ごみピット攪拌・供給支援システム

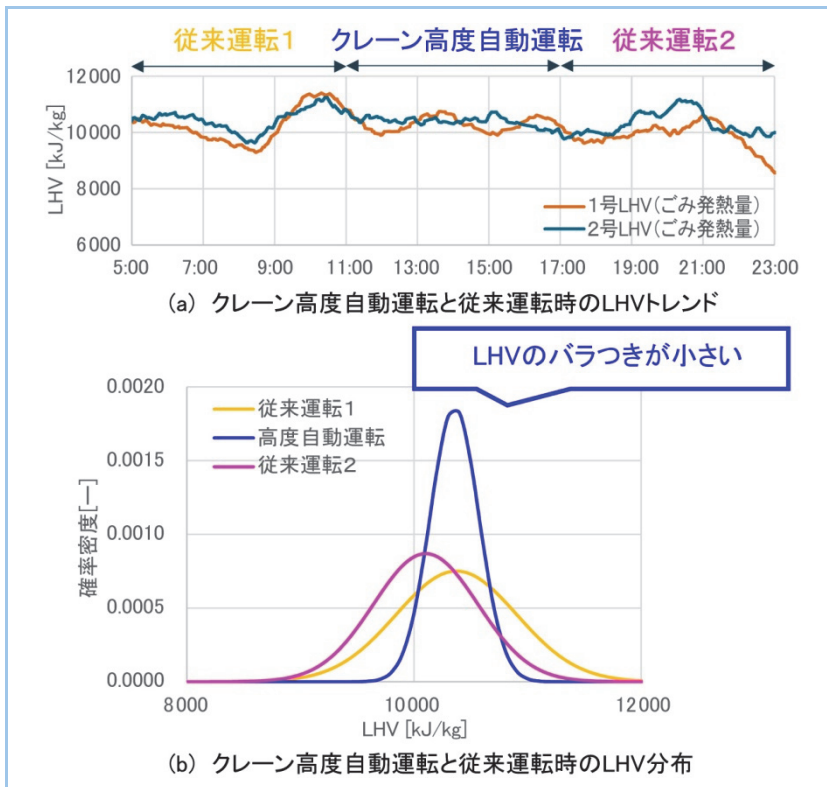


図11 システム効果検証結果

## 6. まとめ

当社グループで開発を進める AI 運転支援・遠隔監視システム MaiDAS®は、主として運転スコアリング機能を有する MaiDAS® Dashboard とリアルタイムで見える化・分析を行う MaiDAS® Visualizer, AI を活用した高度な自動燃焼制御を行う MaiDAS® Navigator からなり、次世代型の AI 遠隔監視・運転支援システムである。また、ごみピット攪拌・供給支援システムの高度化によりごみ質を安定させ、燃焼制御の精度が向上できる。これらを活用することで属人的要素を排除した高度自動運転化が可能であり、不確実な時代に対応した焼却施設運営の高度化・効率化など持続可能性を追求できると考える。

## 参考文献

- (1) ホウ シュほか, ごみ焼却工場への AI・IoT 技術適用に関する取組, 第 32 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿 2021 (2021-10) p.287
- (2) 岩下信治ほか, 遠隔監視・運転支援システムを活用した高度運転自動化によるお客様価値の創造, 第 32 回廃棄物資源循環学会研究発表会講演原稿 2021 (2021-10) p.265
- (3) 後藤善則ほか, ごみ攪拌・供給支援システムの開発, 第 41 回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集 (2020-1) p.212