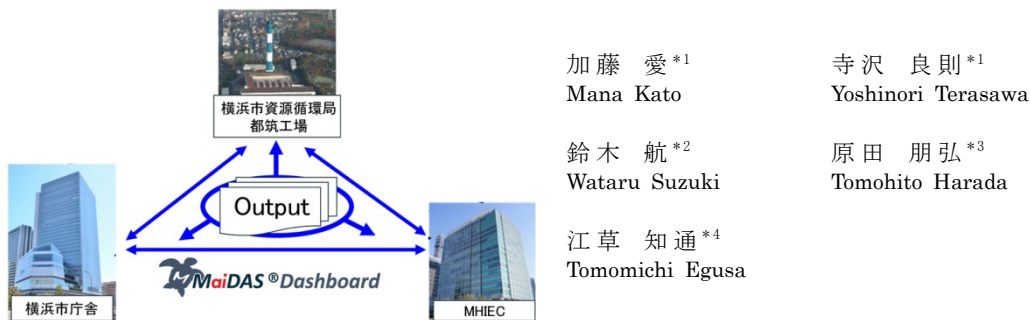


横浜市との共同研究における AI 遠隔監視・運転支援システム MaiDAS[®]による自動運転の取組み

Approach to Highly Automated Operation Using AI Remote Monitoring and
Operation Support Systems MaiDAS[®] in Joint Research with Yokohama City



三菱重工環境・化学エンジニアリング株式会社 (MHIEC(以下, 当社)) では, ごみ焼却施設において, 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[®]を開発した。現在本システムの一つ MaiDAS[®] Dashboard を活用した運転支援の取組みについて横浜市と共同研究を行っており, 実施内容の一つとして高度自動運転に取り組んでいる。本報では共同研究の進捗及び4日間の高度自動運転検証の結果について述べる。

1. はじめに

近年, ごみ焼却施設では施設の持続可能性を追求した長期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や不測の事態への対応なども更なる検討が必要となっている。こうした中, 当社では遠隔監視及び AI (Artificial Intelligence) やクラウドを活用した運転支援システムを構築し, 複数の焼却施設の運転状況を一元管理する取組みを行っている。これらの運転データを集約し, 得られたノウハウを水平展開することで焼却施設運営の高度化・効率化を図っており⁽¹⁾, 本報では, 当社システムの高度化に関する取組み状況と, それらを活用した横浜市との共同研究の進捗について報告する。

2. システム概要

当社では, 2018 年より AI・IoT 技術を活用した次世代型遠隔監視・運転支援システム “MaiDAS[®]” の開発を行っており, 2005 年竣工のガス化溶融ごみ処理施設を皮切りに 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 11 施設と接続して運用している。図1, 図2に MaiDAS[®]の構成図を示す。MaiDAS[®]は, ①データの見える化, ②データ分析, ③AI 予測, ④機器異常診断の基本機能をもとに, 運転スコアリングや運転ガイダンス機能を有する Dashboard, リアルタイムで見える化・分析を行う Visualizer, AI を活用した高度な自動燃焼制御を行う Navigator を主として7つのサブシステムから構成されている。特に MaiDAS[®] Dashboard は, 機械学習による蒸発量予測や運転員への情報提供, ごみ投入の異常などを即座に検出し, その対処操作をガイダンスとして表示して運転を支援することが可能である。

*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 デジタライゼーション開発部

*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 デジタライゼーション開発部 グループ長 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 デジタライゼーション開発部 グループ長

*4 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 デジタライゼーション開発部 部長 技術士 (上下水道部門, 総合技術監理部門)

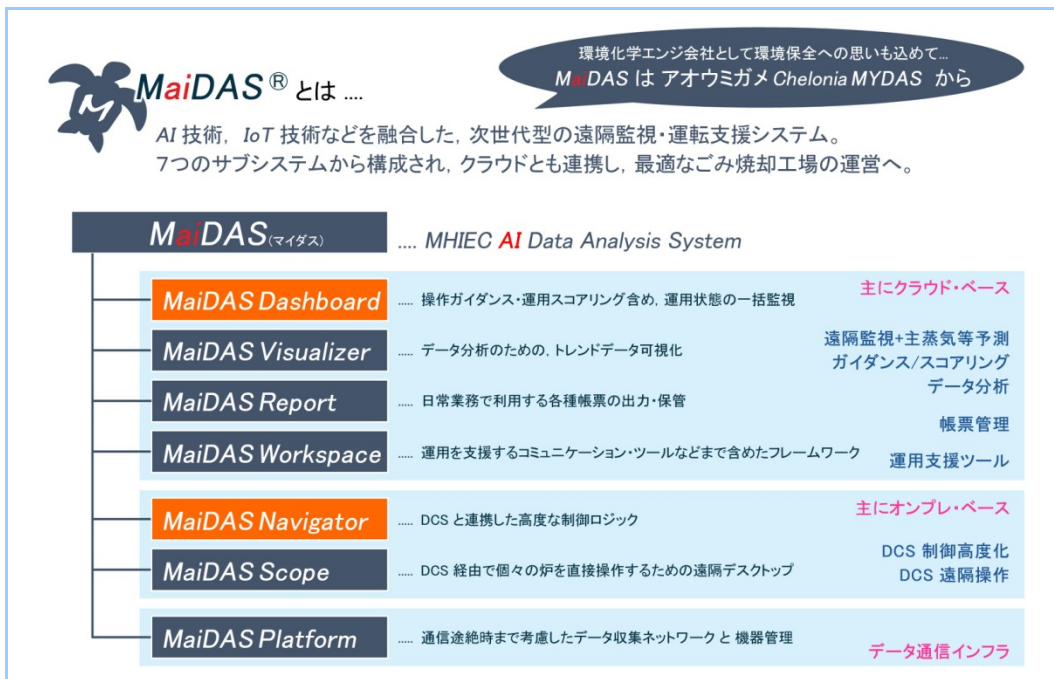


図1 MaiDAS[®]サブシステム構成①

MaiDAS[®]は7つのサブシステムから構成されており, システムの詳細を示す

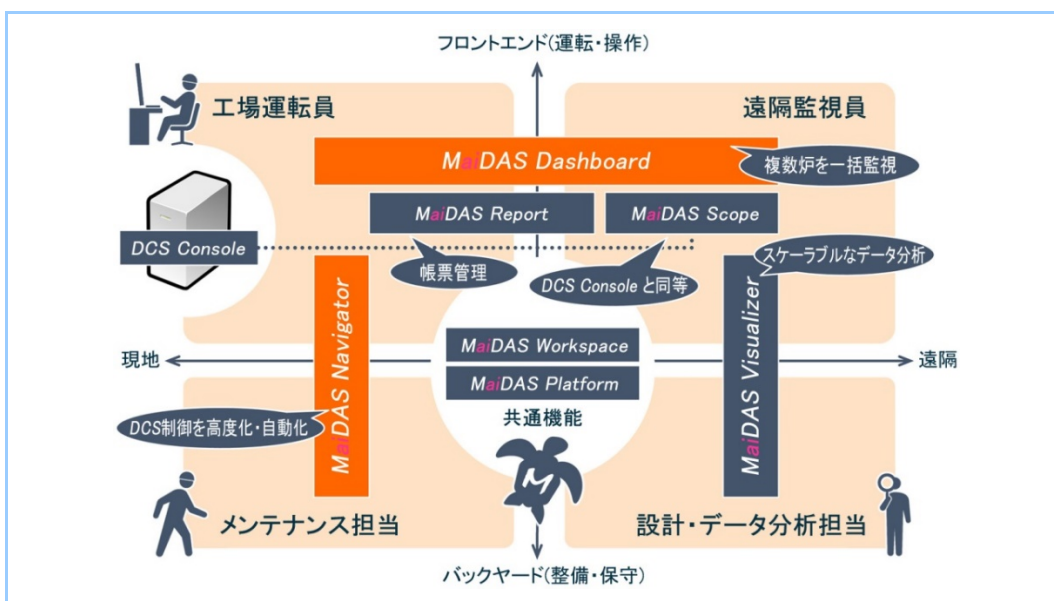


図2 MaiDAS[®]サブシステム構成②

MaiDAS[®]は7つのサブシステムから構成されており, 各システムの関係を示す

3. MaiDAS[®] Dashboard および横浜市との共同研究

現在 MaiDAS[®]を用いた横浜市と“ごみ焼却工場への AI・IoT 技術適用に関する共同研究”を 2018 年から継続実施中である。共同研究の最終的な目標は, 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)である。

共同研究では, まず初めに横浜市のごみ焼却施設の運転データ, 発電データや画像データ等をリアルタイムで取得するために, 市庁舎, 横浜市資源循環局都筑工場(以下, 都筑工場)及び当社の3拠点で遠隔監視網を構築した(図3)。次に, 運転データの蓄積・見える化を行い, 機械学習により主蒸気流量(以下, ボイラ蒸発量)の予測モデルを構築, リアルタイムでの表示を可能とした。

現在では、前述のとおり“高度自動運転”に取り組んでいる。ごみ焼却施設の多くは、ごみ供給量や燃焼空気量を自動的に制御する自動燃焼制御装置(ACC:Automation Combustion Controller)により安定燃焼が維持されている。一方、投入ごみ質変動がACCの制御範囲を超えた場合、施設の運転員がDCS(Distributed Control System)の監視画面に表示される運転データや、ITV(Industrial Television)画像から燃焼状態を確認し、手動介入操作を行っている。ここでは、この手動介入操作をプロセスデータや火炎データ等を用いた機械学習により代替する。すなわち機械学習により算出した最適な手動介入操作(推奨値)の信号をDCSに直接入力することで、ACCによる自動制御のさらなる精度向上(=高度自動運転)の実現を目指している。

まず図4に示すように、MaiDAS® Dashboard画面上に推奨値をガイダンスとして表示し、ガイダンス通りの運転操作を行うことで、機械学習により算出された推奨値の評価、機械学習モデルの改良を行った。ガイダンス運転の評価方法は、手動介入操作(ガイダンスに基づく操作以外で運転員が判断して操作した回数)、ボイラ蒸発量安定性、一酸化炭素(CO)濃度安定性、窒素酸化物(NOx)濃度安定性の通常運転時との比較を行った。なお、硫黄酸化物(SOx)、塩化水素(HCl)、ばいじん等は炉後段敷設の排ガス処理装置で抑制されており、今回の評価項目から除外した。NOxも薬剤等で濃度が抑えられているが、炉内の状態が不安定になると大きく増加することもあるため評価項目対象とした。推奨値の発出項目は、①燃焼制御、②フィーダ速度、③一次燃焼空気、④二次燃焼空気とし、これら4項目による機械学習による予測手法を制御に織り込んだ高度自動運転への可能性を検証した。

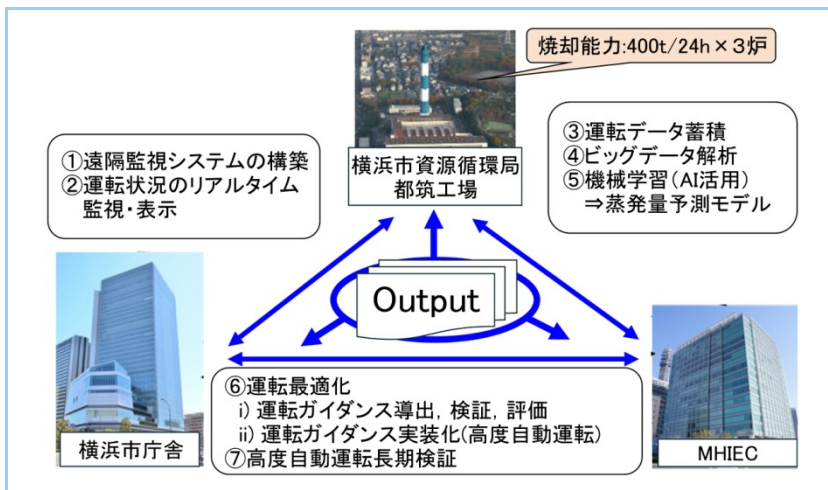


図3 横浜市共研の取組み内容

横浜市との共同研究における各施設のネットワーク図とそれを用いた取組み内容について示す

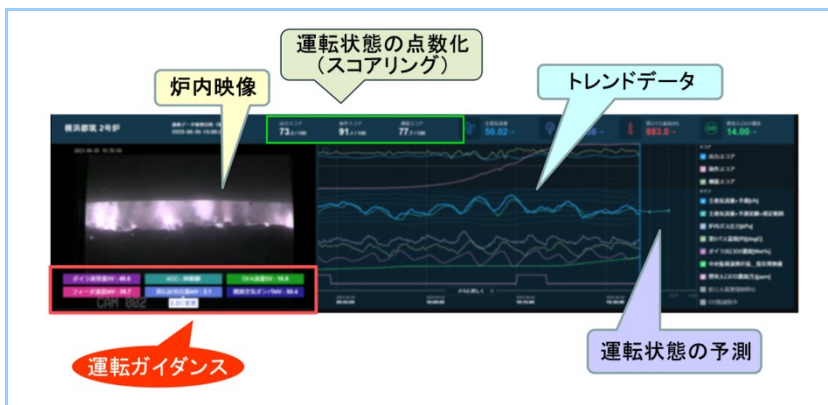


図4 MaiDAS® Dashboard

ガイダンス運転、自動運転検証にて用いた MaiDAS® Dashboard の表示画面を示す

4. ガイダンス検証及び自動運転検証結果

図5にガイダンス運転による蒸発量(PV-SV)/SV の標準偏差, CO 平均値, NOx 平均値及び手動介入回数の変化について示す。ここでは, 比較的運転に集中を要する, ごみ搬入が行われている日中の9時~17 時頃の運転データを用いて検証を実施した。まず, ガイダンス検証では検証日におけるガイダンス4項目の手動介入回数が平均 1.75 回/8H となり, 通常運転と比較して95%削減することができた。また, その際の蒸発量偏差, CO, NOx, は通常運転とほぼ同等であった。このことから機械学習により算出した推奨値の妥当性を確認できた。

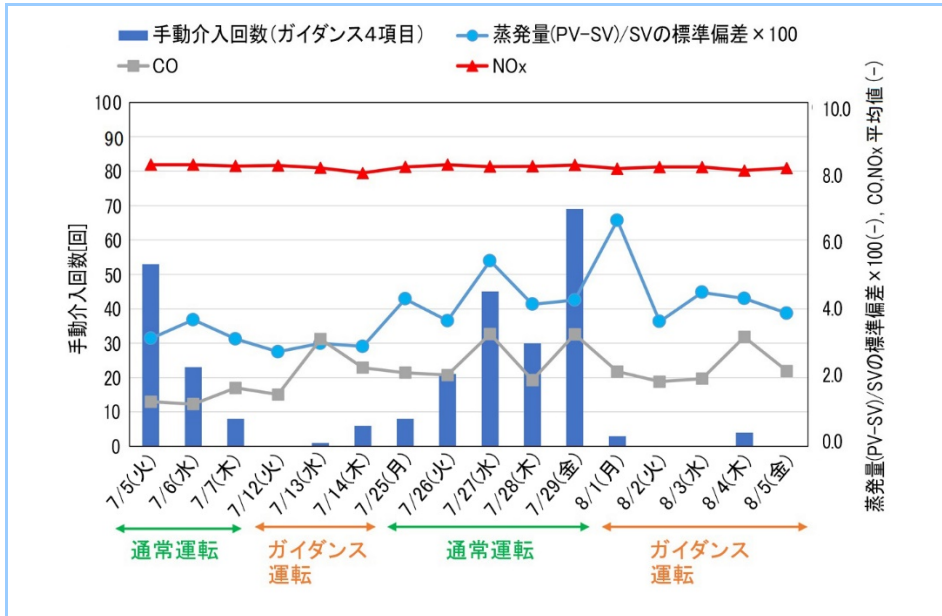


図5 ガイダンス運転検証結果
通常運転時とガイダンス運転時の手動介入回数、蒸発量・CO・NOx の安定性について示す

さらに, ガイダンス運転のロジックを制御に組み込んだ高度自動運転検証を5日間行った。図6に高度自動運転検証の結果を示す。6/13, 14 についてはイレギュラーな長期保管ごみ主処理時の機械学習モデルのチューニング不足により手動介入が入ったが, その後自動運転4項目の手動介入を0回とできた。また, その際蒸発量, CO, NOx についても通常運転時とほぼ同等となり, 検証5日間全て運転管理基準値を遵守した値となった。

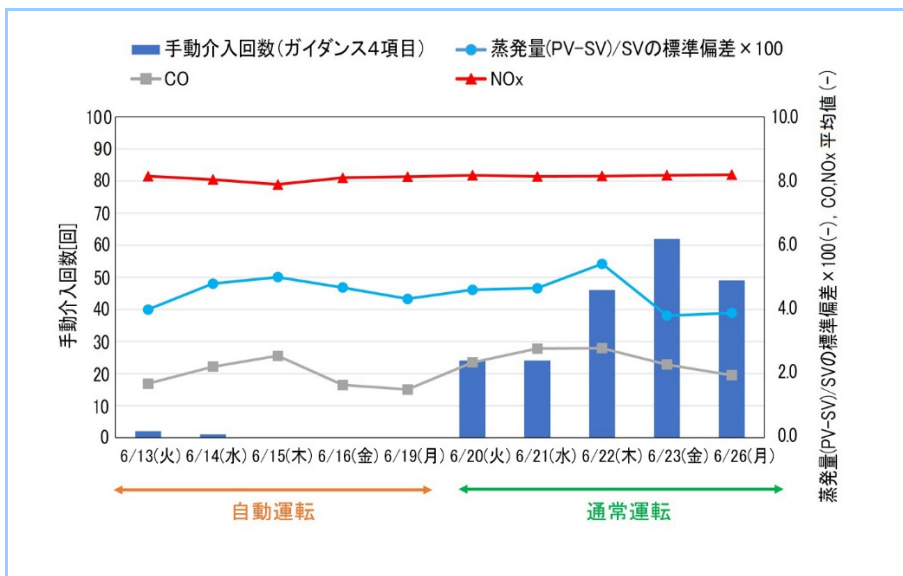


図6 自動運転検証結果
通常運転時と自動運転時の手動介入回数、蒸発量・CO・NOx の安定性について示す

また、ごみ焼却時に発生した排ガス中に含まれるHCl、SO_x、NO_x、ダイオキシン類等は法令により排出濃度や総量が規制されており、HClやSO_xなどの酸性ガスは消石灰との中和反応、NO_xはアンモニアとの脱硝反応にて除去される。最も運転安定性が確認されたデータで、高度自動運転を行った炉において通常運転を行った場合と比較してごみ供給変動(O₂変動)が低減され(図7)、これにより消石灰、アンモニアの使用量が低減されていた。今後、高度自動運転の精度向上に取り組み、排ガス変動に追従しきれなかった余分な薬剤吹込み量の低減、機械学習を適用し排ガス濃度の予測や制御方法を考慮し積極的なユーティリティ削減にも取り組んでいく。

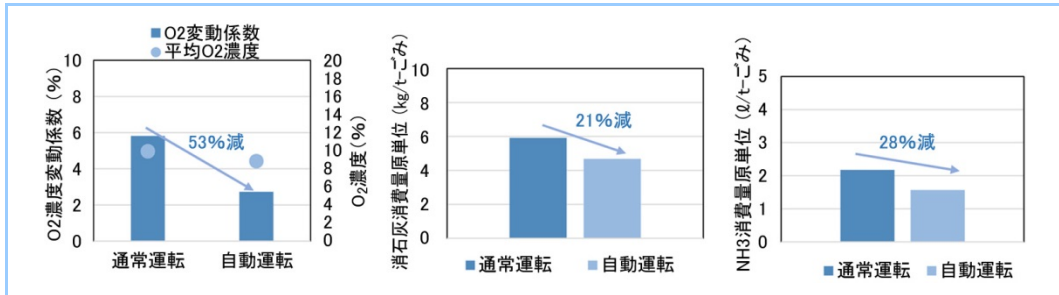


図7 通常運転時と自動運転時のO₂濃度安定性、消石灰使用量、NH₃使用量の比較

5. まとめ

ごみ焼却施設の高度自動化運転を目指し、現地から取得した運用データをもとに、リアルタイムでデータの見える化や、推奨操作の導出を行うシステム(MaiDAS®)を開発した。機械学習により制御推奨値を導出し、その信号を直接燃焼制御系に導入する高度自動運転検証を実施した結果、通常運転と同等の性能にて、手動介入回数の大幅な低減が可能であることを確認した。今後長期での検証を実施し、季節変化などによるごみ質の変動を考慮した、更なる精度向上と手動介入回数の低減を目指す予定である。さらに、薬剤使用量低減や、CBM(Condition Based Maintenance)へ繋がる重要機器の状態監視も包含し、施設運営の最適化も考慮した高度自動運転システムの構築に取り組む。

最後に、共同研究の実施をご快諾くださいました横浜市資源循環局に感謝を申し上げます。

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式会社の登録商標(商標登録第6333918号)です。

参考文献

- (1) 原田他, ごみ焼却工場へのAI・IoT技術適用に関する取組み(第2報), 第44回全国都市清掃研究事例発表会, (2022)