特集≫≫　解体，3R，建設発生土・廃棄物処理

廃棄物処理施設整備の最前線

ごみ焼却施設の DX 技術導入事例と効果

上　村　愛　優

本稿では，ごみ焼却施設における DX 技術の導入事例を紹介する。焼却炉の自動運転 AI や蒸気発生量・薬剤噴霧量制御の自動化により，運転員の介入操作回数を大幅に削減した。また，画像処理解析 AI を活用した早期火災検知システムは，大規模火災の防止と施設の稼働停止リスクを低減している。さらに，遠隔監視拠点の運用により，柔軟な運転体制と労働環境の改善を達成している。これらの DX 技術は，ごみ焼却施設の安全性向上と運営効率化に寄与し，持続可能な廃棄物処理システムの構築に貢献するものである。
キーワード：廃棄物，焼却，省人化，自動運転，遠隔監視，ごみピット火災

1. はじめに

ごみ焼却施設は現代社会において不可欠な社会インフラであり，その役割は時代の変化に伴い進化してきた。当初，我が国のごみ焼却施設は，高度経済成長期における公害問題への対応として重点的に整備が進められ，環境汚染防止と公衆衛生の確保が図られてきた。2000 年代に入り，経済成長が成熟期を迎え，資源の有限性や環境負荷の低減が重要視されるようになると，廃棄物は単なる処理対象から有用な資源・エネルギー源として捉え直されるようになった。特に，2009 年度の「循環型社会形成交付金制度」導入により，全国で廃棄物発電などの高効率エネルギー回収施設の整備が加速した。

2024 年に閣議決定された「第五次循環型社会形成推進基本計画」では，2050 年ネット・ゼロの実現に向けて，さらなるエネルギー回収効率の向上を目指すこととともに，自立・分散型の地域のエネルギーセンターとしての機能や災害時の防災拠点としての活用等の多面的価値を創出することが方針として示された。また，IoT および AI の活用による処理工程の高度化や省力化の重要性も示されており，少子高齢化が進む中でも効率的に廃棄物処理を行えるよう，本分野における DX 推進も必要不可欠な取り組みとなっている。さらに，近年廃棄物処理施設で頻繁に発生しているリチウムイオン電池による火災は，施設の長期停止を招き，地域の廃棄物処理機能に深刻な影響を与えている。

このような課題に対応するため，ごみ焼却施設への DX 技術導入を積極的に推進している。本稿では，人手不足解決に向けた自動運転技術，火災リスク軽減のための早期検知システム，および遠隔監視技術について，具体的な導入事例とその効果を紹介する。

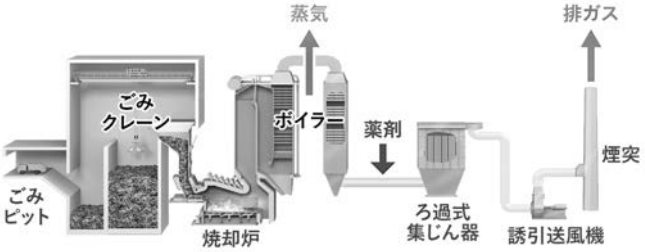
2. 具体的な DX 事例

(1) ごみ焼却施設の自動運転技術

(a) ごみ焼却施設の概要

ごみ焼却施設の標準的なシステムを**図**―1 に示す。ごみ収集車で運ばれたごみはごみピットに一時保管され，ごみクレーンで焼却炉に投入される。ごみの燃焼に伴い発生する排ガスは，塩化水素やダイオキシン類などの有害物質を除去するため薬剤を吹き込み無害化する。同時に，燃焼で発生する熱をボイラで回収して蒸気を作り，蒸気タービンで発電を行う仕組みとなっている。

有害物質の発生抑制および発電出力の安定を阻害する要因が，燃料であるごみの性状が一定でないことである。一般的な発電所で使用される燃料と異なり，ごみは紙・プラスチック・生ごみ・木くずなど，様々な



図―1　ごみ焼却施設の標準的な概略システム

物質が混在しており，季節や地域によっても組成が大きく変動するため，燃焼状態や蒸気発生量，排ガス量が常に変化する。これに対し安定性を飛躍的に向上させる３つの運転操作自動化機能を開発した。**図―２**に制御イメージ，**図―３**に制御概要を示す。

（b）運転操作自動化機能の詳細

①焼却炉自動運転 AI システム

焼却炉の燃焼状態は，従前より標準的に装備されている自動燃焼制御装置（Automatic Combustion Controller，以下 ACC）により一定程度安定に維持されている。しかし，ごみ質の大幅な変動時などは，ACC 任せでは安定状態への復帰に時間を要することから，排ガスなどの環境基準値を確実に守るために，運転員が手動介入することで ACC 制御範囲へ復帰させている。開発した焼却炉自動運転システムは，運転員のノウハウや経験に基づく手動操作内容をプログラム化した自動介入モデルを搭載し，運転員と同等の判断および操作を自動で行うことができる。

②蒸気量 SV 値自動制御

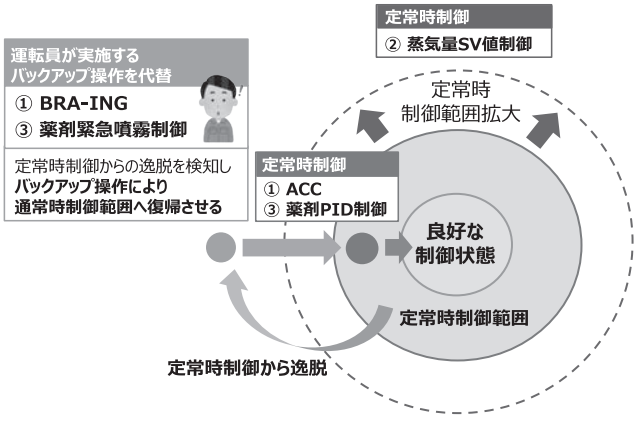
ごみ焼却施設では，蒸気発生量の安定性を保ちながら日毎の焼却量管理が必要となるが，ACC では両方を同時に高水準で制御することができない。従来は，必要に応じて運転員が ACC の目標蒸気発生量（SV 値）を手動で増減し，ごみ焼却量を調整してきた。蒸気量 SV 値自動制御機能は，目標焼却量と焼却量実績値を比較して，目標蒸気発生量を自動調整する機能である。さらに，従来運転員が対応していた，売電電力量の低下による買電リスク増加時や排ガス流量が管理値を超過しそうな場合の SV 値調整についても，本機能では自動で行うことができる。

③薬剤緊急噴霧制御

ごみ焼却施設では，排ガス中の有害物質抑制のため薬剤を噴霧し，煙突での排出基準濃度を下回るよう制御している。薬剤噴霧量は通常の PID 制御で自動調整されるが，煙突での有害物質濃度が急上昇した場合は，運転員が一時的に薬剤噴霧量を増加させ，有害物質濃度の上昇を抑制させている。薬剤緊急噴霧制御は，煙突での有害物質の濃度上昇を検知し，薬剤噴霧量を緊急的に自動増加させる機能である。従来の PID 制御と組み合わせることで，薬剤制御を全自動化することができる。

（c）運転操作自動化機能の効果

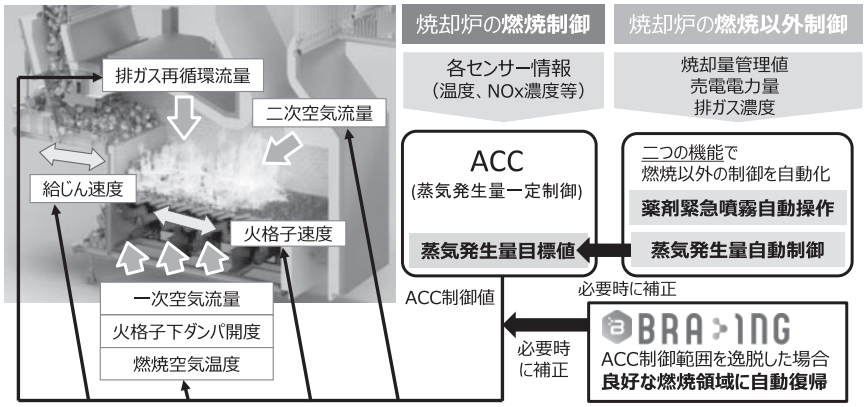
運転操作自動化機能の効果を検証するため，実証試験を行い，自動化機能導入前の同期間の運転データと比較した。具体的には，運転員による手動介入操作回数により，自動運転が達成された期間を評価した。また，燃焼状態の安定性を評価する指標として，「良好な燃焼状態」を維持できた時間の割合を用いた。良好な燃焼状態とは，蒸気発生量が設定値から大きく外れていない，かつ焼却炉出口の排ガス温度が大きく変動



図―２　自動制御技術の制御イメージ

表―１　良好な燃焼状態の定義（AND 条件）

a	発生蒸気量の偏差が設定値に対して－8%以上 （PV－SV）／ SV ≧ － 8%
b	炉出口温度の平均値に対して－50℃以上



図―３　自動制御技術の制御概要

表―２　実証試験期間中の操炉状況と結果

項目	ACC ＋操作自動化機能	ACC のみ
期間	2023/07/01 ～ 10/03	2021/07/01 ～ 08/24 2021/09/08 ～ 10/03
日数［day］	95	83
ごみ低位発熱量［MJ/kg］	9.1	8.1
ごみ投入量［t/day］	64.7	63.6
介入操作回数［回 /day］	0.06	44.4
良好な燃焼状態の維持割合	99.8	98.4

していない状態とし，その定義を**表―１**に示す。

期間中の操炉状況および試験結果を**表―２**に示す。95 日間の試験期間のうち，運転員による手動介入がない完全自動運転を延べ 92 日間達成し，最長 59 日間の連続無人運転を記録した。運転操作自動化機能により，運転員による 1 日あたりの平均介入操作回数を 99％以上削減できた。なお，これらの介入操作はトラブル対応のみであり，制御状態改善を目的とした手動介入操作はすべて自動化機能で代替できた。また，良好な燃焼状態の維持割合は 99.8％であり，ACC および焼却炉自動運転システムにより温度および蒸気発生量の大幅な低下がない安定した燃焼状態を長期間維持できた。

現在，この運転操作自動化機能は，15 施設に導入済みであり，さらに現在設計・建設中の 10 施設にも導入予定である。今後はさらなる技術開発を進め，ごみ焼却施設の完全無人化と運営全体の最適化を目指している。

(2) ごみピット火災検知システム

前述の通り，ごみの性状は一定でないため，安定燃焼を実現するには投入前にごみ質を可能な限り均一化する必要がある。このため，ごみピット内ではごみクレーンによる移動・破袋・撹拌作業を常時行っている。**写真―１**にクレーンによる撹拌作業を示す。

しかし，この作業過程でリチウムイオン電池などの危険物が混入していた場合，落下などの物理的衝撃により発火する危険性がある。リチウムイオン電池はモバイルバッテリーやスマートフォンなどに含まれ，これらに起因する火災が問題となっている。ごみピット内で火災が発生し，大規模延焼に至ると，消火のための大量放水によるごみピットの機能停止や，熱損傷による設備故障などにより，施設全体が長期間停止する事態が発生し，その数も増加している。このような深刻な影響を防ぐためには，火災の早期検知と迅速な初期消火が極めて重要である。

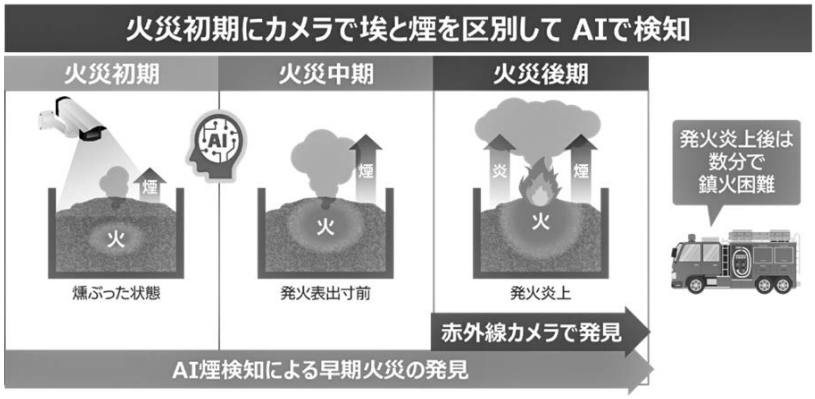


写真―１　ごみクレーンによる撹拌作業

火災の早期検知による初動対応の迅速化のため，画像処理解析 AI による発煙検知システムを開発した。本システムは，ごみピット上部に設置したカメラで撮影した画像を，画像処理解析 AI が解析して発煙を検知するシステムである。学習素材としてごみピット内の実際の発煙パターンを用いたディープラーニングを実施することで，発煙の特徴を捉え，ホコリなどとの誤認知を可能な限り抑えることに成功した。**図―４**に本システムの発煙検知概念図を示す。

現在ごみピット火災検知システムとして広く実装されている赤外線方式は，火災による温度変化を捉える仕組みであるため，ごみ表層部で発生した火種は早期に検知可能である。しかし，ごみ深層部で発生した火種は，他のごみが覆い被さることで，火種から発せられる赤外線が遮られてしまい，一定程度延焼が進行するまで検知できないことがあった。

一方，本システムは，ごみ深層部の火種から発する小さな煙を検知することができる。煙はごみの隙間を縫って表層部に上昇するため，表面で発火する前に火災を検知することが可能である。大規模火災を防ぐためには，初期消火は極めて重要であり，本システムによる数分間の早期検知の差は，火災被害の大幅な軽減に寄与するものである。従来の赤外線検知システムと本システムによる煙検知，2 種類の異なる検知システ



図―4　本システムの発煙検知概念図

ムを導入することで火災リスクを低減している。現在本システムは6施設に導入済みであり，今後11施設に導入予定である。

(3) 遠隔監視・運転支援技術

従来，ごみ焼却施設の運転監視は施設内の中央制御室のみで行われてきた。中央制御室と同等の機能を持つ，遠隔監視拠点「グローバルリモートセンター(GRC)」を横浜本社に建設し，運用している。GRCの内観を**写真―2**に示す。15台以上のPCおよび40台以上の大型ディスプレイを設置し，現地運転員と同じ操作画面やカメラ映像をリアルタイムで監視しながら，中央制御室と同じ運転操作を行うことができる。24時間体制で熟練運転員が，現在19施設の遠隔監視および操業支援を実施している。

現在の運用方法としては，基本的には現地の中央制御室で運転監視・操作を実施し，GRCがバックアップの役割を担っている。例えば，設備トラブル発生時には，現地施設側がそのトラブルシューティングに注力し，GRCにて運転を代行している。これにより，現地運転員はトラブル対応に専念でき，対応の迅速化と運転の安定性向上を同時に実現している。また，運転員の休憩時間の確保が容易になり，労働環境の改善にも寄与している。このように，従来にはなかった柔軟な運転監視体制や，運転体制自体のスリム化を実現している。



写真―2　グローバルリモートセンター

3. おわりに

本稿では，ごみ焼却施設が直面する課題に対応するDX技術として，ごみ焼却施設の自動運転技術，ごみピット火災検知システム，および遠隔監視・運転支援技術，について紹介した。これらの技術は，いずれもごみ焼却施設の安全性向上と運営効率化の両立を目指すものである。今後もごみ焼却施設のDXを継続し，安全で持続可能な廃棄物処理システムの構築に貢献していきたい。

JCMA



[筆者紹介]
上村　愛優（かみむら　あゆ）
JFEエンジニアリング㈱
環境本部　環境プラント事業部　計画部　第一計画室
副課長