

# ごみ処理施設・資源化施設における省人化技術

## Labor-Saving Technologies for Municipal Waste Treatment Facilities and Recycling Facilities



國政 瑛 大①\* Akihiro Kunimasa  
 中野 裕② Hiroshi Nakano  
 桂木 格③\* Tadashi Katsuragi

ごみ処理施設や資源化施設では、労働人口減少などにより、今後運転員の確保がより困難になる状況が予測されており、施設の運転を経済的・効率的にする省人化技術の開発が重要となっている。

これを受け、ICT技術やロボット技術を活用して、ごみ処理施設における遠隔監視・運転支援システム「KEEPER」や資源化施設における資源ごみ選別作業支援システム「K-Repros」など運転員の負荷を軽減させるシステムを開発した。

Because of the declining workforce, municipal waste treatment facilities and recycling facilities are expected to face greater difficulty in securing a sufficient number of operators, and it is increasingly important to develop labor-saving technologies for economical and efficient facility operation.

In response to this situation, we have developed systems for reducing the burden of operators by using ICT (Information Communication Technology) and robot technology, including KEEPER, a system for remotely monitoring and supporting the operation of municipal waste treatment facilities, and K-Repros, a support system for hand-sorting recyclable waste in recycling facilities.

### まえがき

近年、我が国を取り巻く社会環境の変化（労働人口減少、大規模災害や感染症の流行）により、今後運転員の確保がより困難になる状況が予測されている。ごみ処理施設や資源化施設においても、より少ない運転員で効率的に運転する社会的ニーズが高まっている。

### 1 背景

ごみ処理施設や資源化施設は生活基盤を支える重要社会インフラ施設の一つであり、安心・安全な操業が求められる。施設の安定稼働には、運転状態を管理・補助する運転員の存在が不可欠である。労働人口が減少していく中で効率的に施設を操業していくには、運転員の経験に依存せず安定した運転を実現する運転システムの構築が必要である。

現在、当社はごみ処理施設や資源化施設の人による認識や判断行為・作業を補助するものとして、遠隔監視・運転支援システムや資源ごみ選別作業支援システムなど省人化技術の開発を進めている。運転員のノウハウをシステム化して負担を軽減することで、より人の関与が必要な業務へのリソースシフトを可能にするソリューションを目指した技術開発に取り組んでいる。

### 2 ごみ処理施設の遠隔監視・運転支援システム

ごみ処理施設は、家庭ごみをはじめとする一般可燃ごみを焼却処理により減容化・無害化する施設である。収集されたごみをごみ処理施設のごみピットに受入れて、焼却炉内で効率的に完全燃焼して減容化する。焼却排ガスは排ガス処理装置により無害化して煙突から排出する。また、焼却時に発生する熱エネルギーは発電や熱供給に利用される。

#### (1) ごみ処理施設の省人化運転における課題

ごみ処理施設は分散制御システムDCS (Distributed Control System) で制御され、焼却炉の運転は自動燃焼制御ACC (Automatic Combustion Control) により自動化されている。処理対象となるごみは不均質であるため、一時的にごみの性状（質や発熱量）が大きく変動した場合、手動操作により安定燃焼を補助する必要がある。そのため、ごみ処理施設の安定運転には、焼却炉の燃焼状態を監視して自動燃焼制御を補助するベテラン運転員が不可欠である。

ごみ処理施設の省人化運転の実現には、①現地運転員による焼却炉の監視・操作の遠隔監視サポート、②焼却炉に投入するごみ性状の安定、③燃焼状態の変動に応じた自動燃焼制御の補正が課題となっている。

## (2) ごみ処理施設における省人化技術

### ① 遠隔監視・運転支援システム「KEEPER」

当社は、ごみ処理施設における遠隔監視システム「KEEPER (Kawasaki Expert Environmental Plant Engineered Remote support system)」を2016年度より導入している。当社神戸工場内に設けた環境遠隔監視室と全国にある各施設の運転監視システムを仮想的な専用回線IP-VPN (Internet Protocol-Virtual Private Network) で接続して、遠隔で集約的に監視可能としたものである。導入当初は4施設が対象であったが、DBO事業の受注に伴い、2023年3月現在で対象施設は12施設となっている。

プラットフォームとしてNTT PCコミュニケーションのMaster's ONEを用いたIP-VPNを基本に構築して、セキュリティの担保を図っており、ネットワークを含めたハード側の高いセキュリティ対策の維持・向上を進めている。また、監視員・社員による悪意の有無を問わないセキュリティアタックに対する対策として、2020年10月に図1に示すサイバーセキュリティマネジメントシステムCSMS (2023年3月現在3社取得)の認証を取得して運用中である。

「KEEPER」では、当社ベテラン運転員のこれまでに培った運転経験を活用し、24時間監視を通じた各施設(オンサイト)の監視と運転状況の確認・診断に関するサポート業務を行っている。また、各施設の運転データを収集・蓄積・分析するデータセンターとしての機能も持ち、AIを活用した運転支援システムを運用している。燃焼の安定化と運転員の負荷低減を目的に、焼却炉の運転において実施される手動操作をAIで再現し、最適な手動操作を運転員にレコメンド出力するものである。図2で示すように、プロセスデータや燃焼映像および手動操作履歴といった施設運転データをAIが関連付けて学習して、過去に手動操作が行われた運転状況と類似していると判断した場合に、その操作レコメンドを自動出力する<sup>1)</sup>。

学習AIは、各施設運転データが登録された遠隔監視システムのデータベースにアクセスして、蓄積された過去データの学習により演算モデルを生成する。予測AIはこの演算モデルと最新データから操作レコメンドを生



図1 CSMS認証ロゴおよび遠隔監視室  
Fig.1 CSMS certification logo and remote monitoring room

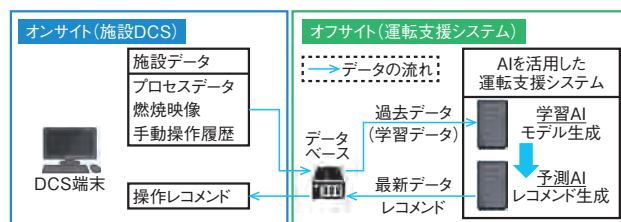


図2 AIを活用した運転支援システム概要  
Fig.2 Overview of operation support system using AI

成する。なお学習AIによる演算モデルの生成は適宜可能であり、各施設運転データの追加に応じて追加学習が可能なシステムである。

### ② ごみクレーン最適運用システムによるごみ燃焼安定化

焼却炉における安定燃焼の基本はごみ質(発熱量)を可能な限り安定させることであるが、ごみ質が大きく変動する主要因は水分である。従来は、ごみピット内のごみ質の状況を定量的に把握できなかったため、運転員による目視(ごみの色、ごみクレーンでつかんだ際の重量など)によるごみピット内の攪拌が必要であった。ごみクレーン最適運用システムとして、ごみ中の水分の定量的な計測とごみクレーンによるごみピットの最適攪拌方法を組み合わせた自動運転技術を開発した。

水分カメラにより、近赤外線カメラで撮影した画像を水の吸収帯域とその影響が小さい非吸収帯域の両者の画像の輝度の違いからごみ中の水分指標を数値化する。図3に示すようなピット全域の水分指標の分布データを使用して、ごみクレーンでピット内のごみ水分指標の分布が標準化する最適攪拌を自動で効率的に行う。

### ③ AI活用運転支援システムによるACC自動補正

運転支援システムから発信された操作レコメンドは、図4で示すように、施設DCSで操作端と操作方向を定性的に表示するガイダンスモードと、ACCに自動補正を行うAI補正モードで使用される。AIが補正する制御操作量の範囲は操作端ごとに施設DCS(オンサイト)上で

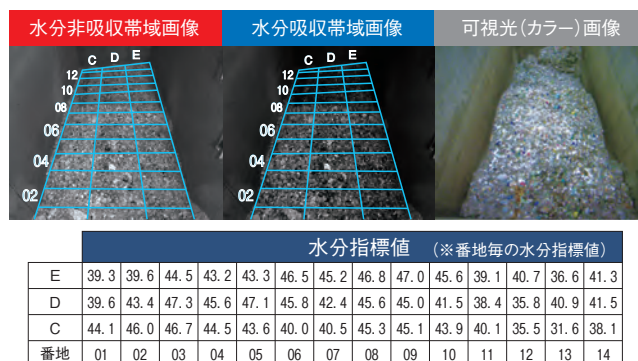


図3 水分カメラ画像と水分指標マップ  
Fig.3 Moisture content camera image and moisture content index map

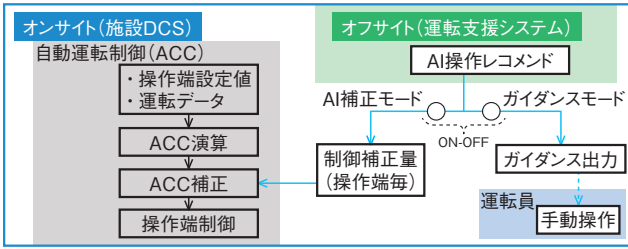


図4 操作レコメンドの活用システム  
Fig. 4 System using operation recommendations

設定可能である。過去の運転データに基づく運転員の燃焼監視・手動操作を再現した操作レコメンドとACCとを連携させることで、自動運転適用範囲が拡大し、運転員の手動操作の負荷を軽減できる。

(3) 実証試験

2021年1月～3月に環境遠隔監視室で運転を代行して、遠隔操作を試験的に実施してシステムを実証した。なお「KEEPER」を使用した遠隔操作を行う場合、環境遠隔監視室でも中央制御室と同じ情報(運転操作画面・ITV映像)は得られるが、機械室の各機器の運転状況などは把握できないため、現地側と連携を図りながら行った。

2022年3月竣工の知多南部広域環境センターでは、ごみクレーン最適運用システムとAI活用運転支援システムによるACC自動補正システムが適用されており、その実証試験で2週間手動操作が不要となる安定運転を確認した。また環境遠隔監視室の運転員による24時間監視を通じたバックアップを組み合わせることで運転しており、各省人化技術の活用により省人化運転が可能なる状態である。

3 AI搭載資源ごみ選別作業支援システム「K-Repros」

資源化施設は、ガラスびん・缶・ペットボトルなどの資源をリサイクルするため、選別処理や圧縮梱包を行う施設である。この内ガラスびんは、リサイクルするために色別に分別する必要がある。一般的に茶色や無色およびその他色の3種類に分別される。

(1) びんの選別工程における省人化の課題

ガラスびんの選別工程における回収物は、栄養ドリンクのような小さなびんから一升びんのような重量物までサイズも多様であり、分別対象の色・サイズの組合せは多岐にわたる。また、ガラスびんとして回収されたもののなかにはガラスびんとしてリサイクルできないキャップ等の異物が混入していることもあり、それらの異物除去も選別工程では必要となる。このような状況において、選別精度向上のため複数の作業員による手選別が広く採用されている。

AI搭載資源ごみ選別作業支援システム「K-Repros」は、

図5に示すように、作業員の手選別作業と協働してガラスびんの色選別作業の補助を目的に開発したものである。開発にあたり、①ロボットと人の共存・協働作業への対応、②びん識別技術、③びん把持を可能とするハンドの開発が課題となっている。

(2) AI搭載資源ごみ選別作業支援システム「K-Repros」

K-Reprosのシステム概要を図6に示す。本システムは画像データから選別対象であるびんを自動で検出・識別を行う認識部とその信号に基づきピッキングする把持部から構成される。把持部はロボットとロボットアームの先端に取り付けるハンドで構成される。課題を解決するために以下3つを適用・開発した。

① 「duAro 2」による共存・協働作業

把持部は当社の協働ロボット「duAro 2」を採用しており、作業員とロボットが同じ空間で共に作業することが可能である。「duAro 2」は衝突検知機能やロボット表面に柔らかな材料のパーツを採用するなど、安全を担保するためのさまざまな機能により、人との共存・協働作業が可能である。また設置にあたり隔離柵が不要で、人ひとり分のスペースに設置できるコンパクトなサイズであり、コントローラを内蔵したキャスター付きの台車により容易に移動できる。

② AIによるびん識別

認識部には、びんの認識に特化した自社開発のAIを採用している。深層学習により入力された画像データから対象物を検出できるもので、図7で示すようにカメラで撮影した画像データを基にAIが色や形状などの特徴

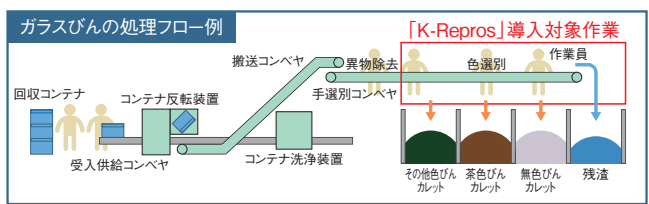


図5 「K-Repros」の導入対象作業  
Fig. 5 Processes covered by K-Repros

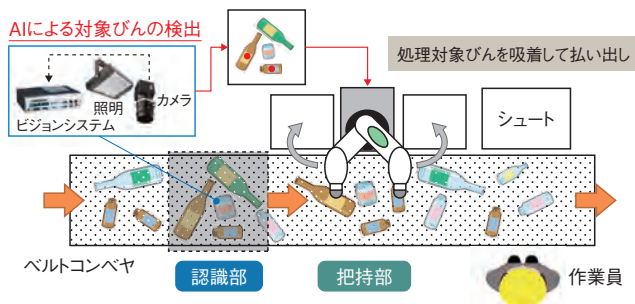


図6 「K-Repros」システムの概要  
Fig. 6 Overview of K-Repros system





図7 AIによる検出例  
Fig.7 Example of detection using AI  
(○:茶色びん, ○:無色びん, ○:その他色びん)

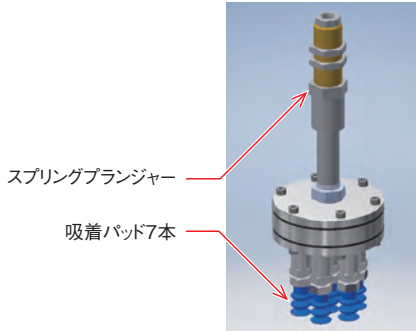


図8 ハンド構造  
Fig.8 Construction of hand

量から自動でびんの色識別を行い、対象物の把持ポイントを判断する。

### ③ 真空吸着式ハンドによるびん把持

「duAro 2」のハンドには、図8に示すような真空吸着式を採用している。びんの大小の差による吸着面高さの差をスプリングプランジャーで吸収して、先端に配置した吸着パッドでびんを吸着する。複数の爪の開閉により対象物を挟むグripper式に比べて、把持スピードに優れ、びんの向きや形状・大きさに関係なく把持することが可能である。処理対象物が密集する状況にあっても目標物だけをピンポイントで把持可能で、確実性が高い。

### (3) 実証試験

AIの識別精度ならびに処理能力を確認するため、図9に示すように、実際にびんの手選別工程を有する資源化施設の手選別コンベヤに本システムを設置し、実証試験を実施した。なお、資源化施設におけるガラスびんの選別では色選別後の純度（異色びんの混入率）に高い精度が求められることが多いため、AIモデルの構築においてはびんの検出率よりも色間違いなどの誤検出数を最小限とすることに重点を置いた。

AIによる識別精度の検証結果を表1に示す。対象色びんへの他の色びんの混入程度を示す適合率は、いずれの種類も100%であった。適合率100%とは色間違いが無く、全て対象色ごとに分類されている状態を示している。また、AIがびんとして識別した割合を示す検出率は、平均97.2%



図9 実証試験の様子  
Fig.9 Demonstration experiment

表1 AIによる識別精度の検証結果

Table 1 Verification results of accuracy of identification using AI

ガラスびんの種類	適合率 ((B-D)/B)	検出率 (B/A)	処理対象数 (A)	検出数 (B)	未検出数 (C)	誤検出数 (D)
茶色	100%	97.4%	534	520	14	0
無色	100%	97.3%	515	501	14	0
その他色	100%	96.6%	298	288	10	0
平均(合計)	100%	97.2%	(1347)	(1309)	(38)	(0)

であり、色に対する高い識別精度を有しつつ、びんに対する検出率においても十分な性能が得られた。なお、作業員1人分の処理量に対するロボット1台の処理量の割合は、50%程度を確保できており、協働ロボットを適用して人とその共存・協働作業をコンセプトとした本システムの能力として、想定通りの成果となった。

### あ と が き

長期間にわたる施設の安定運営には、ベテラン運転員の経験に依存せずに安定した運転を実現する運転システムの構築が必要である。また、運転員の確保がより困難になる状況が予測されており、ごみ処理施設や資源化施設において省人化技術が今後ますます重要となる。ICTの発展状況なども踏まえつつ、本技術の開発に今後も取り組んでいく。

### 参 考 文 献

- 1) 國政瑛大, 他: AIを活用した運転支援システムの評価について, 第31回廃棄物資源循環学会発表会講演原稿, D1-4 P.249-P250 (2020)



國政 瑛大



中野 裕



桂木 格