

改良型ごみクレーン自動運転システム 「Think Crane[®]」の開発

Development of “Think Crane[®]”, an improved automatic waste crane operation system

徳川 暁大 Akihiro TOKUGAWA
日鉄エンジニアリング(株)

泉屋 亨 Tooru IZUMIYA
日鉄エンジニアリング(株)

高田 純一 Junichi TAKADA
日鉄エンジニアリング(株)

小池 純 Jun KOIKE
日鉄エンジニアリング(株)

鬼塚 大輔 Daisuke ONITSUKA
日鉄エンジニアリング(株)

宮崎 聡志 Satoshi MIYAZAKI
日鉄エンジニアリング(株)

森永謙二郎 Kenjiroh MORINAGA
日鉄エンジニアリング(株)

松田 薫平 Kunpei MATSUDA
日鉄エンジニアリング(株)

抄 録

近年、ごみ処理施設の運営において、操業・保守の高度化ニーズが益々高まっている。この解決のため、当社では自ら考え最適な状態で自立的な操業を実現するプラント「Think Plant[®]」を構想し、その一環としてごみクレーン自動運転システム「Think Crane[®]」の開発も実施してきた。1つ目のごみピット MAP システムは、ごみの搬入と移動の状況を定量的・継続的に把握することが出来る。2つ目のプラットフォーム検知システムは、搬入車両の動きを正確に捉え、ごみ搬入扉の開閉予測を早期に行うことが出来る。Think Crane[®]は、この2つのシステムを合わせ、ごみピットとプラットフォーム両者の状況を総合的に考慮して、ごみクレーン自身が最適な動作の判断を行うことが可能である。

Abstract

In recent years, in operation of waste treatment facilities, need for more advanced operation and maintenance of waste treatment facilities has been increasing. To solve this problem, NSE is developing the “Think Plant[®]”, a plant that realizes autonomous operation in an optimal state. As part of this effort, NSE has also developed the “Think Crane[®]”, an automated waste crane operation system. First, “The Waste pit MAP system” is a system that can quantitatively and continuously monitor status of waste delivery and movement. Second, “The Platform detection system” is a system that can accurately capture movement of waste delivery vehicles and predict opening and closing timing of waste delivery doors at an early stage. By combining these two systems, Think Crane[®] can comprehensively consider conditions of a waste pit and a platform, allowing a waste crane to make the best decision on its own.

1 はじめに

近年、世界的に二酸化炭素排出をはじめとした環境規制厳格化が進んでおり¹⁾、合わせて特に日本では労働人口の継続的減少による人材不足が課題として認知されている^{2), 3)}。これらの課題に対してごみ処理施設の運営においては、操業・保守の負荷軽減そしてそれらの高度化・自動化のニーズが益々高まっている。その課題・ニーズを解決するために、当社では自ら考え最適な状態で自立的な操業を実現するプラント「Think Plant[®]」を構想している。

自律的な操業を実現するために、Think Plant[®]は、当社が培ってきたオペレーション&メンテナンス(O&M)技術を基に構築された「Think Crane[®]」「Think View[®]」をはじめとする各種サービスを保有している^{4), 5)}。さらに当社では、それらサービスを迅速に安価に現場へ導入し、統合的に保守・管理するための基盤である「Think Platform[®]」の開発も継続的に行っている。

本稿ではごみ処理施設において Think Plant[®]を実現するための一つの要素技術である改良型ごみクレーン自動運転システム「Think Crane[®]」の開発について述べる。

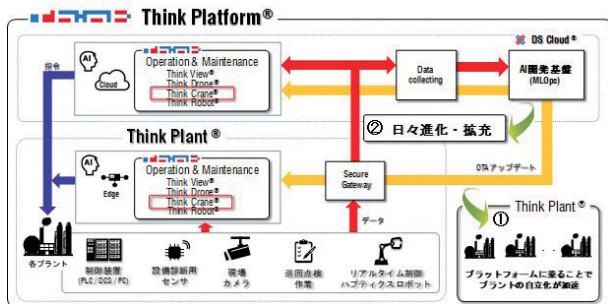


図1 Think Platform[®]の概要図
Fig.1 Overview of Think Platform[®]

および は、日鉄エンジニアリング(株)の登録商標

2 改良型ごみクレーン自動運転システム「Think Crane[®]」の開発

当社の納入してきたごみ処理施設には、ごみクレーン動作を自動で実行するごみクレーン自動運転システムがもともと備わっている。しかしながら、これまでごみクレーン自動運転システムには後述のような課題が生じており、ごみクレーンの動作効率

には改善の余地が残されていた。

(1) ごみの攪拌・投入動作の高度化

従来のごみクレーン自動運転システムは、自動でごみピット内の攪拌を行う機能、および自動で炉(焼却炉もしくはシャフト炉式ガス化溶融炉)へごみを投入する機能を備えていたが、ごみの攪拌度合いなどの性状を把握する機能を持ち合わせていなかったため、攪拌結果の定量的な把握が困難であった。特に、当社の保有技術の一つであるシャフト炉式ガス化溶融炉方式は、幅広い性質のごみを処理することが可能であるため⁶⁾、実際のごみ処理施設には焼却灰や掘り起こしごみ等の多種多様な廃棄物が搬入されている。一般的に焼却炉の安定操業には、ごみの攪拌が重要な要素であることが知られているが、シャフト炉式ガス化溶融炉方式の場合は、ごみの攪拌に加え、炉内状況に応じた最適なごみ種を炉内へ投入することが安定操業の維持に繋がることがわかっている。しかしながら、その最適なごみ種の選定には高度な操業の経験値を必要とするため、炉内状況によってはクレーンオペレータの手動操作によって選択的なごみの投入を行う局面があった。

(2) ごみレベル計測の高度化

ごみピット内の攪拌結果を定量的に把握するには、ごみの移動を高精度にトレースする必要があるが、トレースに必要なごみレベル(ごみピット内のごみ堆積高さ)の計測精度が不十分であった。

当社では、ごみピットを受入エリアと投入攪拌エリアの2つに分割している。受入エリアは、ごみ搬入扉からごみが搬入されるエリアである。この時、搬入車両から受入エリアへごみが搬入される時のごみの動きを「受入」と呼ぶ。投入攪拌エリアは、ごみを攪拌および炉へ投入するエリアである。受入エリアと投入攪拌エリアは、仕切り壁で区切られていることが多く、受入エリアから投入攪拌エリアへごみを移動する必要がある。この時のごみの移動を「積替」と呼ぶ。また、投入攪拌エリアの中でごみを移動させたり、高い位置からごみを落下させたりする動きを「攪拌」と呼ぶ。そして、投入攪拌エリアから炉内へごみを運び入れる動きを「投入」と呼ぶ。

受入エリアでは、従来はごみ搬入扉の1回の開閉

で一定量のごみが搬入されると仮定し、一定のごみレベルを加算する方式を採用していた。しかし、実際は搬入車両ごとに搬入するごみ量が異なるため、そのごみ量のばらつきが受入エリアの実際のごみレベルと推定値の間に誤差を生んでいた。また、投入攪拌エリアでは、従来はごみクレーンのバケットがごみに着床した際に、ごみクレーンバケットの高さ位置(エンコーダ)を用いたごみレベル計測を実施していた。しかし、受入エリアから投入攪拌エリアへごみを連続で複数回にわたって積替した場合、ごみクレーンのバケットは投入攪拌エリアへ着床することがない。そのため、投入攪拌エリアでのごみレベル計測精度の低下につながっていた。

(3) プラットホームからのごみ搬入に応じた積替の高度化

ごみの搬入が行われる日中において、ごみの搬入が特に集中する時間帯が発生することがあり、従来のごみクレーン自動運転システムでは対応しきれない局面があった。これはクレーンオペレータがプラットホームを確認した際に、搬入車両の待機列が短くなるようにごみの搬入を優先し、ごみピット内のごみ搬入扉近傍の受入エリアからごみクレーンを退避させるよう手動介入を行う場合があるためである。

ここまで(1)、(2)、(3)の課題を述べてきた。当社では、この課題解決が可能な機能を付加したごみクレーン自動運転システムを確立するため、2-1. ごみピット内のごみ性状の把握を可能にする「ごみピット MAP システム」、2-2. プラットホーム内の車両状況等を検知する「プラットホーム検知システム」、の2つの技術を開発し、改良型ごみクレーン自動運転システム「Think Crane[®]」を構築した。本稿ではそれぞれの技術要素について仕組みと機能を説明し、2-3. にて取り組み内容をまとめる。

2-1. ごみピット内のごみ性状の把握を可能にする「ごみピット MAP システム」

ごみピット MAP システムは、ごみピット内を数値モデル化することで、ごみの搬入・移動をトレースし、ごみの貯留状況を記録する技術である。本システムを活用することで、ごみピット内の全域につ

いて、ごみの堆積状況や性状を継続的に把握することが可能である。

図2に本システムのイメージ図を示す。本システムではごみピット内の空間を立方体状にメッシュを切って分割し、ごみピット全体をモデル化している。これらの構成単位の各メッシュは、ごみの堆積状況や性状を表すパラメータとして、①ごみレベル、②攪拌回数および攪拌度、③ごみ種の3つがデータとして付与される。図3はごみピット MAP システム画面の例である。実際はごみピット内の空間を3次元的に立方体状に切って分割して管理しているが、利便性を上げるため3次元的に全てを表示せず、ごみピット内で最も上に表出しているメッシュの持つ数値のみ表示している。それぞれのメッシュ内の1段目にはごみレベル(メートル表示)、2段目には攪拌回数(回数を表示)、3段目には攪拌回数を元に算出した当社独自の攪拌度、4段目にはごみ種を表示している。この例の中では、ごみピットを4行×9列のメッシュに切っており、a行は受入エリア・B～D行は投入攪拌エリアとして区分けしている。

①ごみレベルは、ごみピット内のごみ堆積高さを表す指標であり、投入、積替、攪拌などのごみクレーン動作に応じて、ごみピット MAP システム内にて対象メッシュに対してごみレベルの加減算を行う。また、ごみクレーンが着床した際の高さ情報に加えて、受入エリアおよび投入攪拌エリア近辺に設置した電磁波式レベル計(図4)の測定結果から、実

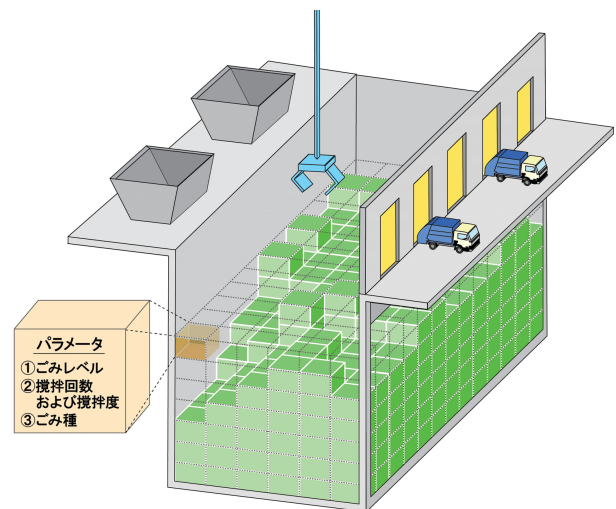


図2 ごみピット MAP システムの概要図
Fig. 2 Waste pit MAP system

【攪拌状況】									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D	11.4	12.7	11.4	11.4	11.2	11.6	11.6	12.2	13.6
	0.8	2.8	3.4	4.2	2.8	4.2	4.2	6.7	1.6
	不明88	一般63	一般74	一般92	一般93	一般81	一般73	一般45	不明80
C	12.3	13.1	11.3	11.2	11.4	11.2	11.4	12.0	13.6
	0.7	5.0	6.4	8.5	6.4	7.0	4.4	8.7	2.4
	不明94	一般69	一般80	一般81	一般76	一般76	一般77	一般63	一般79
B	13.3	13.4	11.8	11.4	11.7	11.0	11.7	12.5	14.0
	1.1	3.2	5.2	2.6	3.7	2.2	3.3	6.2	2.4
	不明80	一般72	一般90	一般85	一般93	一般92	一般96	一般89	一般85

	1-1	1-2	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2	5-1	5-2	6-1	6-2
a	-0.6	-0.9	-0.6	-0.5	-1.5	-1.7	-0.9	-0.8	-1.5	-1.3	-2.1	-2.3
	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.0
	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.5	2.0	2.0	2.0	2.0	2.2	2.0
	一般58	一般78	一般97	一般96	一般100	一般100	一般100	一般100	一般100	一般100	一般66	一般71

1段目: レベル
2段目: 攪拌回数
3段目: 攪拌度
4段目: ごみ種

図3 ごみピット MAP システム画面の例
Fig. 3 Example of Waste pit MAP system monitor



図4 電磁波式レベル計
Fig. 4 Electromagnetic Wave Level Meter

際のごみレベルとごみピット MAP システム内の数値との乖離を是正し、精度を保っている。

②攪拌回数および攪拌度は、ごみがどの程度攪拌されているかを表す指標であり、それぞれのごみクレーン動作(攪拌など)に応じて、システム内にて対象メッシュに対して攪拌回数の加算を行う。また攪拌回数を元に独自の計算式を用いて攪拌度を算出している。攪拌度は基本的には高い方が、炉の操業に対しては望ましい。攪拌度が低い時、そのメッシュのごみに極端に水分が多く含まれている可能性があり、その場合は炉の操業へ悪影響がある可能性が高まる(水分量の偏りは炉の操業へ悪影響を与える)。そのため、当社のごみクレーン自動運転システムは、攪拌度を上げるためのアクションを総合的に判断して自動で実施する。

③ごみ種は、画像認識技術「Think View®」を用いることで、一般ごみ・草木などに判別・分類し、該当メッシュに記録する(図5)。特に草木は炉の操業へ悪影響を与える可能性が高いため、どの程度均一に攪拌されているかを把握する必要がある。当社のごみクレーン自動運転システムは、例えば草木の割合がある設定値を下回った場合は、そのメッシュの

ごみを炉へ投入して良い、などの判断が可能になっている。

ごみクレーンの動作によってごみが移動したり炉内に投入されたりした場合は、攪拌回数やごみ種が記録された該当ごみの移動をトレースし、該当メッシュの情報を更新する。そのため、ごみの堆積状況や性状を常に定量的に把握することが可能になり、ごみピット内の状況に応じた最適な攪拌を実現した。また、特にシャフト式ガス化溶融炉では、炉内状況に応じた投入ごみの選択も実現した。

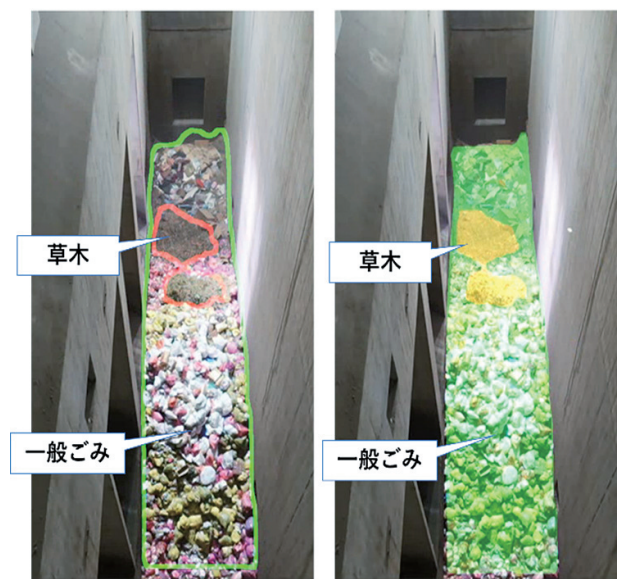


図5 画像認識技術を用いたごみ種判定
Fig. 5 Determination of waste type using image recognition technology

2-2. プラットホーム内の車両状況等を検知する「プラットフォーム検知システム」

ごみの搬入が多い日のピーク時であっても効率よく稼働するごみクレーン自動運転システムを確立す

るため、画像認識技術「Think View[®]」を用いて、プラットフォームにおける車両状況を検知するシステムを開発した。図6には実際に検知システムが稼働している様子を示す。本システムはカメラで撮影された映像から搬入車両を検出し、搬入車両の位置から、ごみ搬入扉へごみを搬入する前の車両がプラットフォームに存在するかを判別することが可能である。本システムによって、より早期にごみ搬入扉の開閉予測がたてられるため、ごみ搬入扉の開閉都合に合わせて搬入車両を待たせることが大幅に減った。また、ごみの搬入が多い時間帯であっても搬入車両の動きに対応できるため、ごみクレーンの効率的な積替動作が可能になった。

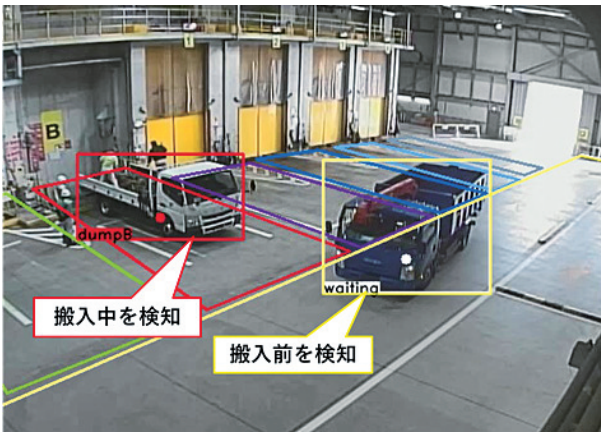


図6 プラットホーム車両検知システム
Fig. 6 Platform detection system

尚、本システムでは画像検知システムによって搬入車両の動きを判別しているため、車両管制システムを設置していない既存施設などにおいても、プラットフォーム内の車両渋滞緩和を図るための対策として導入が可能である。

さらに本システムは、安全対策としてプラットフォームにおける人の動きの検知機能も具備している。

2-3. 従来のごみクレーン自動運転システムと「Think Crane[®]」の違い

「Think Crane[®]」では、前項までで述べた「ごみピットMAPシステム」および「プラットフォーム検知システム」を活用することで、ごみピットとプラットフォーム両者の状況を総合的に考慮して、ごみクレーン自身が最適な動作の判断を行うことが可能で

ある。当社の従来のごみクレーン自動運転システムと「Think Crane[®]」の機能の違いを表1に示す。

現在では「Think Crane[®]」を当社納入施設のごみクレーンに導入し、試験運用を行っている。

表1 従来のごみクレーン自動運転システムと「Think Crane[®]」との機能比較
Table1 Functional comparison between conventional waste crane system and “Think Crane[®]”.

ごみクレーン自動運転の機能	従来型システム	Think Crane [®]
ごみピット状態(ごみレベル)の把握	△	○
ごみピット状態(攪拌回数・ごみ種割合)の把握	×	○
プラットフォーム状態の検知	×	○
ごみクレーンと搬入車両の動きの双方を考慮した自動運転	×	○

3 おわりに

本稿では、自らが異常の検知や最適な操業判断を行う自立型ごみ処理プラント「Think Plant[®]」における主力要素の1つである、改良型ごみクレーン自動運転システム「Think Crane[®]」について述べた。

当社は、社内にデータ解析を専門に取り扱う「データサイエンス室」を配置し、現在データ解析の取り組みを強力に推進している。今後も引き続き、高度データ解析を用いた高度化・自動化をさらに進めていく所存である。

参考文献

- 1) 環境省(2023)：令和5年版環境白書・循環型社会白書・生物多様性白書(要約)，pp. 2, pp. 4
- 2) 総務省(2022)：令和4年版高齢社会白書(全体版)，pp. 2-6
- 3) 厚生労働省(2022)：令和4年版厚生労働白書-社会保障を支える人材の確保-(概要)，pp. 1
- 4) 池田泰良ほか(2023)：ごみクレーン自動運転システムの高度化～AI・IoTを活用した自立型ごみ処理プラント～，第44回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集，pp. 224-226
- 5) 矢野順也ほか(2023)：画像処理を用いた操業・保守スマート化～AI・IoTを活用した自立型ごみ処理プラント～，第44回全国都市清掃研究・事例発表会講演論文集，pp. 29-31
- 6) 長田守弘ほか(2010)：シャフト炉式ガス化溶融炉の改善の経緯と今後の展望，新日鉄エンジニアリング技報 Vol. 01, pp. 15-22