

ごみ処理施設自動化に向けたセンシング情報の精査

Survey of Sensing-Information Type towards Automatic Waste Treatment Facility

西村悟史¹ 柴田一栄² 白石憲明³ 福田賢一郎¹ 西村拓一¹

Satoshi Nishimura¹, Kazue Shibata², Noriaki Shiraishi³, Ken Fukuda¹ and Takuichi Nishimura¹

¹ 国立研究開発法人産業技術総合研究所

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

² 三機工業株式会社

² Sanki Engineering Co., Ltd.

³ 三機化工建設株式会社

³Sanki Chemical Engineering and Construction Co., Ltd.

Abstract: Crane operation is a dominant work process in a waste treatment plant with incineration facilities to homogenize garbage distribution in a garbage pit. There are some research of the automatic system of crane operation however, the current system can operate only simple crane operation. We are investigating about an automatic crane operation system which can handle complex situation. In this paper, we report that questionnaire survey about skill and knowledge about crane operation towards the automation system.

1 序論

廃棄物の適正な管理は資源が循環する社会を構築する上で重要な活動である[2, 3]. 日本では, 廃棄物の多くは焼却処理によって体積を小さくしてから, 埋め立てられる[4, 5]. 焼却処理をするためのごみ処理施設においては, クレーンを用いたごみの均質化及び燃焼炉へのごみの投入操作が通常行われている.

燃焼するごみの不均質さが焼却処理の安定的運転を阻害するため, 安定的運転のための試みが研究されている[1, 6, 7]. 特に, ごみの均質化のための研究として, ごみクレーンの自動運転システムがある[1].

しかし, 既存の自動運転システムでは, ごみピット(ごみが堆積され, 攪拌される場所)へのごみの搬入が起こらない深夜帯等に利用されることが多い. 不定期なごみの搬入が起こる昼間帯や特別に注意した扱いの必要となる事業系一般廃棄物を扱うことのできる自動運転システムの実現のためには, センサを通してシステムが状況を認識し, 認識結果に応じてクレーンを適応的に操作する仕組みが求められる.

本原稿では, そのような将来的なクレーン操作の自動化に向けた考察と検討について述べる. 具体的には, 状況に適応的なクレーン操作を実現するために, 自動運転システムが認識すべき情報にはどのようなものがあるか, 操作するクレーン操作を決定するために認識すべき情報はどのようなものがあるか,

状況に適したクレーン操作にはどのようなものがあるかということ明らかにする. そのために, クレーン操作員のクレーン操作を観察し, 操作員に対するヒアリングとアンケートを通して, 情報収集を行った. 結果として得られた情報の中から, 自動運転のために必要な情報を取捨選択し, クレーン操作を判定するためのルールの構築を行った.

2章では, クレーン操作とその操作を生起する認識すべき情報の収集と整理のための取り組みについて述べる. まず, 簡単にごみ処理施設の運用の流れについて概観し, クレーン操作員に対して行った非構造化面接について説明する. 次に, 非構造化面接に基づいて作成した質問紙による調査とその分析結果を述べる. 特に分析結果として, 自動運転に関連するクレーン操作とその操作を生起する認識すべき情報について整理する. 続く, 3章にて, クレーン操作を生起するルールの構築について説明する. 質問紙調査の結果から得られた情報をもとに実務者との議論を通して, プロダクションルールの構築を行った. 計算機理解可能な形式への実装は終わっていないが, Web Ontology Language (OWL) [11]と Semantic Web Rule Language (SWRL) [12]を用いた実装についての検討結果を示す. 4章では, 構築したルールの評価について評価方針を示す. 現在計画中の評価方法について概観し, 評価方法を検討するにあたって明確になった制限をまとめる. 5章にて将来的な自動

運転システムの概要を示し、6章で関連研究を整理する。

2 クレーン操作と関連知識の

収集と整理

2.1. ごみ処理施設の運用流れ

まず、家庭や事業所で生まれたごみがどのように処理施設に運ばれ、処理されるのかの流れを簡単に説明する。

家庭や事業所のごみ集積場からごみ収集車がごみを収集する。ごみ収集車はごみ処理施設のごみ搬入口の扉の前まで来る。クレーン操作員はカメラの映像を通して、ごみ収集車が来たことを認識する。扉が開き、パッカー部分(収集したごみが貯まる部分)のみをピットに突き出して、ごみをピットに投入する。ピットに投入されたごみは袋を破る破袋作業が行われる。また、ごみはごみ収集車によって運ばれる一般ごみ以外に、住民が直接運び込むものや、大きなごみを破碎したもの、プラスチックごみや水分を多く含むもの、事業系一般ごみ、草木類など、多岐にわたる。それらのごみを攪拌することで、平均的な燃えやすさのごみにすることで、燃焼炉の温度を一定に保ち、安定的なごみの焼却処理が可能となる。

このような安定的なごみ処理は、クレーン操作員が状況(ピットにたまるごみの種類や状態、炉の状態、ごみ収集車の様子など)を認識し、適切なクレーン操作を判定し、実際に操作をすることで成立している。

2.2. クレーン操作員に対する

非構造化面接

2017年6月に3名のクレーン操作員を観察し、観察者である第一著者、第四著者の解釈に基づいて、それぞれのクレーン操作員に対して、非構造化面接を行った。

ビデオカメラを8台設置し、状況に応じてクレーン操作を変えているかどうかの観察を行った。設置したカメラはそれぞれ、ピット上部を映したものを2つ、ピット下部を映したものを1つ、アイトラッキングカメラ[8]を1つ、ホッパー(クレーンを用いてごみを炉へ移動する際の入り口)の様子を映したモニタを映したものを1つ、クレーン操作に用いる操作盤を映したものを1つ、全景を映したものを2つであった。観察する際には、クレーン操作を生起している状況認識について、その都度、クレーン操

作員に対して質問を行い、その時点での気づきおよび操作の意図を収集した。

さらに、クレーン操作の観察を終えた後に、それぞれの操作員に対して、30分程度の非構造化面接を実施した。本面接で得られた文言を抽出し、「ごみ管理」「搬入スケジュール」「コミュニケーション」「クレーン操作」「ホッパー投入操作」「安全確保」の6項目に大きく分けて2.3節で説明する質問紙を設計した。

2.3. 質問紙調査

非構造化面接にて収集したクレーン操作員の意見に基づいて、36の質問項目から構成される質問紙を設計した。質問項目は、ごみの種類をどのように分類して扱っているかや、スケジュールや前シフトのクレーン操作員からの引継ぎ事項によってクレーン操作を変えているのか、変えている場合はどのように変えているのか等である。クレーン操作を判定するために認識すべき情報やクレーン操作の種類を広く収集するために、質問項目の内33項目は自由記述式で設計した。

質問紙調査は、2017年8月に5施設に対して行った。回答は施設単位で収集し、何名のクレーン操作員が回答するかは施設に委ねた。回答数は5で回収率は100%であった。

2.4. クレーン操作と

認識すべき情報の整理

2.4.1. 質問紙調査の分析結果概要

質問紙調査の結果を分析し、クレーン操作を判定するために認識すべき情報を列挙する。加えて、認識すべき情報によって生成される状況を条件部に持つようなルールを構築することで、状況に適したクレーン操作を同定可能にする。

まず、1つの施設の質問紙調査結果を確認し、特にクレーン操作の判定に必要な情報および判定ルールを構築するための材料が含まれそうな質問項目を同定した。結果として、12項目が同定された。「ごみ管理」「搬入スケジュール」「クレーン操作」「ホッパー投入操作」「安全確保」の5つの大項目から抽出され、特に「クレーン操作」についての質問項目から多くの情報が得られることが分かった。

次に、これらの質問項目に対して、他の4施設の結果を抽出し、共著者でもある実務者との議論を経て認識すべき情報とそれらの組み合わせで表現される状況に応じたクレーン操作を同定した。認識すべき情報は大まかに、ごみの種類、位置および状態、

ピット内の部位ごとの役割、堆積した総体としてのごみの高さや形状、スケジュール、その他ごみ処理施設の状況を表す情報であった。それらの状況に応じてクレーン操作員らの行う適切なクレーン操作が存在する。順に詳細を述べる。

2.4.2. ごみの種類、位置および状態

一般ごみ、燃えやすいごみ、燃えにくいごみ、未破袋ごみ、粉体もの、草木類、炉に入れられるごみとして、一般ごみと燃えやすいごみの混合物及び一般ごみと燃えにくいごみの混合物である。

ごみの種類は炉に入れた際の燃え方に基づいて大まかに分類されている。炉に入れたときに炉の温度を著しく上げることもし下げることもないごみを一般ごみとしてこれを基準とする。それよりも炉の温度を上げやすいものを燃えやすいごみ、下げやすいものを燃えにくいごみと分類した。燃えやすいごみ、燃えにくいごみは、そのまま炉に入れた場合、炉の温度を大きく変化させる恐れがあるため、一般ごみと混ぜた後に炉に入れられる。この混ぜたものを炉に入れられるごみとした。また、ごみは搬入時点では袋に入っており、種類を判定することが出来ないため、それを未破袋ごみとした。それとは別に、注意をしなければならないごみとして、粉体ものと草木類がある。粉体ものは、高い所から落とした際に、ピット内に粉塵が広がり、視界を遮る不具合が生じるため、袋を破り中身が粉体ものであることが分かった段階で炉に入れるという特殊な処理がなされる。一方、草木類は燃えにくいごみとして扱われるが、他のごみと異なり、ピットから炉への入り口に当たるホッパー部分で絡まって詰まってしまう不具合が生じるため、草木類を含むごみは特別なケアが必要となる。これらの理由から、粉体ものと草木類は燃えやすさとは異なる観点で区別した。

ごみは、その種類に応じて、ピット内の異なる部分に分けて堆積される。これは2.4.3で述べるが、どの種類のごみがピット内のどの部位に存在するかに応じて、クレーン操作員はクレーン操作を変えていることが分かった。

最後に、各ごみの状態についても注意しているものがあることが分かった。特に、前述の通り、草木類は絡まりやすいという性質があるため、自動運転を考慮した場合には、ごみが絡まっているか否かの分類を考慮する必要があることが分かった。

2.4.3. ピット内の部位ごとの役割

ごみを堆積するピットは部位ごとに役割を与えられ、区別されている。それぞれ、未破袋ごみがたまるスペース、燃えやすいごみ堆積スペース、燃えに

くいごみ堆積スペース、草木類堆積スペース、ダンピング口、ごみ搬入口、攪拌スペース、破袋スペースである。施設毎に、区別の仕方は異なるが、多くの施設に共通し、意味のある区別の仕方について、共著者と議論し、上記7つを同定した。

大まかには、堆積しているごみの種類による分類と、その部位で何が行われるのかに注目した分類になっている。ダンピング口は、搬入されたごみをピットに落とす入口付近の1つを指しており、人が落ちる不具合が生じる恐れがあるため、特別なケアが必要とされることとして、ピット内の部位として定量化した。加えて、各部位の内、ごみが堆積しているごみの深部にあるか、表層部にあるかで取り扱いが異なるため、その区別も必要であることが分かった。具体的には、深部にあるごみは、上のごみに押される力によって固まっており、ほぐす必要があることと、ごみの水分が下に流れて、湿っているためごみを構成する材質に依らず燃えにくいごみとして扱う必要があることである。

2.4.4. 堆積した総体としての

ごみの高さや形状

クレーンで運ぶ対象としてのごみと堆積した総体としてのごみは区別して扱われていることも分かった。クレーン操作員はピット内の部位ごとに堆積しているごみの高さや形状によって、クレーン操作を変えていることを質問紙に回答していた。前述の通り、ダンピング口については、一般住民が落ちる恐れがあるため、ごみの高さを一定以上低くしないように気を付けている。また、ごみ搬入口付近に堆積したごみの高さが一定以上に高い場合には、ごみの搬入を止めないことを優先し、後述する破袋や攪拌などの他の作業の優先度を下げるといった判断をしている。堆積しているごみの形状としては、傾斜しているか平らであるかを意識していることが分かった。傾斜している場合には、クレーンの一つかみで掴めるごみの量が減ってしまい、ごみを運ぶ効率が下がるとともに、炉に入るごみの量も減ってしまうという問題がある。そのため、クレーン操作員は堆積しているごみの形状が平らになるように操作しているが、傾斜していることが分かれば、平らに均す作業をしているとのことである。

2.4.5. スケジュール

燃えにくいごみを収集する日には、燃えにくいごみ堆積スペースのごみの割合が高くなるため、攪拌の割合を変えていることが質問紙調査から得られた。また、週末に炉が停止するような施設の場合には、

炉が停止する直前の業務中に、起動直後の炉の温度を上げやすくするための立ち上げ用の燃えやすいごみを確保しておく等の意見が得られた。

2.4.6. その他ごみ処理施設の状況

その他の状況を表現する情報としては、炉からのごみ投入要求のブザーや、クレーンが掴んだごみの重量がクレーンの能力を超えている場合に鳴る重量オーバーのブザー、搬入口の扉の開閉状態や炉が安定しているか、収集車が搬入口に進んで良いかを判断するための交通信号などの5種類が得られた。

2.4.7. クレーン操作

クレーン操作については、バケットを開く、閉じる、移動するという基本的な操作の組み合わせとして、8種類が得られた。具体的には、ごみをA地点からB地点へ移動する、ごみを攪拌する、ごみを落として破袋する、ごみをバケットでつぶして破袋する、ごみを締める、一度に掴むごみの量を減らす、ごみをほぐす、平らに均す、である。

ごみ処理業務の中で特に破袋と攪拌操作が重要となる。ごみの完全燃焼を目的として確実に袋を破る破袋操作が必要となる。この破袋操作には2種類の方法があり、通常行われているのは、高い所から袋を落とすことによる破袋である。一方、燃えやすいごみは紙等の軽いごみと呼ばれており、密度が低いために単純に落とすだけでは破袋できないため、バケットの中でつぶすという操作が行われるようである。また、2.4.2節で述べたように、ごみは種類ごとに燃えやすさが異なっている。そのため、炉を安定的に稼働し続けるためには、炉に投入されるごみは常に均一であることが望ましい。攪拌作業はそのために必要な操作である。標準的な燃えやすさである一般ごみに対して、燃えにくいごみや燃えやすいごみを混ぜて、投入しても炉の状態が著しく変化しないようなごみを作ることを攪拌と呼ぶ。

2.4.2節、2.4.4節で述べたように、ごみの状態や形

表1 (1)式を構成する述語

Predicate	
<i>NonBrokenBag(x)</i>	xは"未破袋ごみ"である
<i>NonBrokenBagSpace(x)</i>	xは"未破袋ごみ堆積スペース"である
<i>BreakingSpace(x)</i>	xは"破袋スペース"である
<i>Move(x)</i>	xは"移動する"である
<i>BreakBag(x)</i>	xは"破袋する"である
<i>Locate(x,y)</i>	xがyに位置する
<i>Destination(x,y)</i>	xの到着地点はyである
<i>Source(x,y)</i>	xの出発地点はyである
<i>Participant(x,y)</i>	xはyを参加者として持つ

状によっては、一度に掴めるごみの量にばらつきが生じるため、それを避けるための操作として、ごみをほぐすや平らに均すといった操作も必要となることが分かった。

3 クレーン操作を生起するルールの構築

2章で述べた質問紙調査の結果と実務者との議論を通して得たクレーン操作員の認識している情報およびクレーン操作から、クレーン操作を生起するルールを構築した。

3.1. 形式の選択

認識情報とクレーン操作の組を表現する形式として、本研究ではプロダクションルール[9]を選択した。二項間の任意の関係を表現できる Resource Description Framework [10]の利用も考えられるが、クレーン操作員によって認識される対象となるごみ処理施設の状況と、クレーン操作との間の関係は、認識情報が条件となって結果としてクレーン操作が生成されるという一つの関係のみであるため、簡素なモデルとしてプロダクションルールを選択した。

3.2. 宣言文の表現

前述の通り、クレーン操作を決定するための情報として認識情報をみなした場合には、認識情報とクレーン操作との間の関係は一種類の関係しかない。しかし、ごみ処理施設の状況やクレーン操作そのものを表現するためにはいくつかの関係を表現する必要がある。例えば、移動するというクレーン操作は、いずれかの種類のごみを対象とし、始点と終点があるという具合である。他にも、燃えやすいごみ、燃えにくいごみ、一般ごみは、いずれもごみの一種であるという一般特殊関係や、ピットの部分としてごみをためるスペースや攪拌スペースがあるという全体部分関係を表現することも、認識すべき情報を整理する上で役に立つ。

3.3. 構築したルール

構築したルールは29種類であった。一例として、未破袋ごみが未破袋ごみ堆積スペースにあったときに、破袋スペースに移動して破袋するというルールを(1)に示す。斜体で示した記号は述語記号、ブロック体で示した記号は変数記号である。ここで用いる述語記号は表1に示す内容を指している。

$$\textit{NonBrokenBag}(a) \wedge \textit{NonBrokenBagSpace}(b) \wedge \textit{Locate}(a,b) \rightarrow \textit{Move}(c) \wedge \textit{Source}(c,b) \wedge$$

$Destination(c,d)\wedge Participant(c,a)\wedge BreakBag(e)\wedge Participant(e,a)\wedge BreakingSpace(d)$ (1)

$co:BreakBag(?new2)$ ^
 $co:hasParticipant(?new2, ?x)$ (3)

このように、ごみ処理施設の状況とクレーン操作を記述するために、いくつかの述語記号を用意して、簡易的に記述した。それらで構成される命題の集合で条件部と行動部を記述し、それらの間を含意記号でつなぐことでプロダクションルールを表現している。

3.4. 実装についての検討

3.1 節, 3.2 節の要件を満たすような実装方法として、Web Ontology Language (OWL) [11]と Semantic Web Rule Language (SWRL) [12]を組み合わせることを検討した。(1)式は(2)式と(3)式に示すルールとして表現できる。

```

swrlx:makeOWLThing(?new1, ?x) ^
co:BreakingSpace(?z) ^
co:NonBrokenBagSpace(?y) ^
co:NonBrokenBag(?x) ^
co:isLocatedAt(?x, ?y) ->
co:Destination(?new1, ?z) ^
co:hasParticipant(?new1, ?x) ^
co:Source(?new1, ?y) ^
co:Move(?new1) (2)

co:BreakingSpace(?z) ^
swrlx:makeOWLThing(?new2, ?x) ^
co:NonBrokenBagSpace(?y) ^
co:NonBrokenBag(?x) ^
co:isLocatedAt(?x, ?y) ->

```

表 2 (1)式の述語と(2)(3)式概念定義との対応関係

OWL Class	Predicate (表1)
co:NonBrokenBag	<i>NonBrokenBag(x)</i>
co:NonBrokenBagSpace	<i>NonBrokenBagSpace(x)</i>
co:BreakingSpace	<i>BreakingSpace(x)</i>
co:Move	<i>Move(x)</i>
co:BreakBag	<i>BreakBag(x)</i>
Property	
co:isLocatedAt	<i>Locate(x,y)</i>
co:Destination	<i>Destination(x,y)</i>
co:Source	<i>Source(x,y)</i>
co:hasParticipant	<i>Participant(x,y)</i>

PREFIX co:
http://coto.pj.aist.go.jp/ontologies/crane_operation#

ここで、swrlx:は <http://swrl.stanford.edu/ontologies/built-ins/3.3/swrlx.owl#>, co:は http://coto.pj.aist.go.jp/ontologies/crane_operation のプレフィックスであり、'??'から始まる記号は変数である。他の記号については、表 2 に表 1 で示した述語との対応関係を示す。

未破袋ごみとピット内の部分を示すインスタンスを用意し、Protégéのプラグインである SWRLTab[23]を用いて未破袋ごみがある場合のクレーン操作として、未破袋ごみを破袋スペースに移動すること、破袋することのインスタンス生成が出来ることを確認した。

プロダクションルールとして構築したルールの一部は OWL と SWRL によって実装することが可能であるが、否定を含むルールの SWRL への変換や、状況の変化に伴って (例えば、ごみが炉に入れられるなど) 消滅するインスタンスの扱いについて、検討が必要である。

4 構築したルールの評価

4.1. 評価方針

2.2 節で述べた非構造化面接を行った施設において撮影された動画データをもとに、ごみ処理施設の状況と実際に行われたクレーン操作を逐次記録し、評価用データを作成した。図 1 に動画データのある時点での画像を切り出したものを示す。あるクレーン操作員がピットをのぞき込んでいる視線動画の一部である。このような動画を基に、ピットにどのような種類のごみが存在するか、扉の開閉状態等その他のごみ処理施設の状況、クレーン操作について定量化を行う。評価用の動画データはクレーン操作員 3 名分であり、全体で 101 分間である。

このようにして作成した評価用データのごみ処理施設の状況を表す情報と 3 節で述べたルールとを照合し、状況に対して適用されたルールを記録する。適用されたルールの行動部を参照し、どのようなクレーン操作が生起するのか、状況がどのように変化するのかを記録する。記録したクレーン操作と変化後の状況と評価用データが示すクレーン操作と変化後の状況を照合し、一致率を算出する。結果として、質問紙調査から得られたクレーン操作の判定ルールが実際のクレーン操作員の判断をどの程度カバーしているかを明らかにする。判定ルールとクレーン操作員の判断が一致しなかった事例が得られた場合には、その不一致の理由について、別途クレーン操作

員に対するヒアリングを予定している。

4.2. 制限

今回の評価では、動画データを援用したため、3節で構築したルール全体の実用可能性検証には至っていない。その原因として、1. ごみの種類を事前の分類通りに定性化することが困難であること、2. 動画データに含まれない情報や動画データだけでは判断できない情報が存在することが挙げられる。

1つ目の制限については、ごみの種類の分類を詳細にしていたが、動画を見ながら逐次記録する者の分類能力がその詳細度での分類を可能としなかったためである。これは、現場のクレーン操作員の協力を得るなどによってより精度の高い評価用データ作成が期待できる。

2つ目の制限については、クレーンが掴んだごみの重量データや、焼却炉からのごみ投入要求などは、映像とは別の手段を通して伝えられる情報であり、動画データには含まれていない。5章にて述べる将来システムでは、電気信号として得られる情報はそのままクレーン操作システムに送ることが出来るため、実用上の問題は発生しない。ただし、焼却炉からのごみ投入要求については、焼却炉のオペレータとクレーン操作員との言語的インタラクションや、焼却炉を映したモニタ画面の情報をもとに、投入するタイミングやごみの種類を選択している可能性もあるため、クレーン操作員のノウハウを取得するためには、さらなる調査の必要性が示唆される。

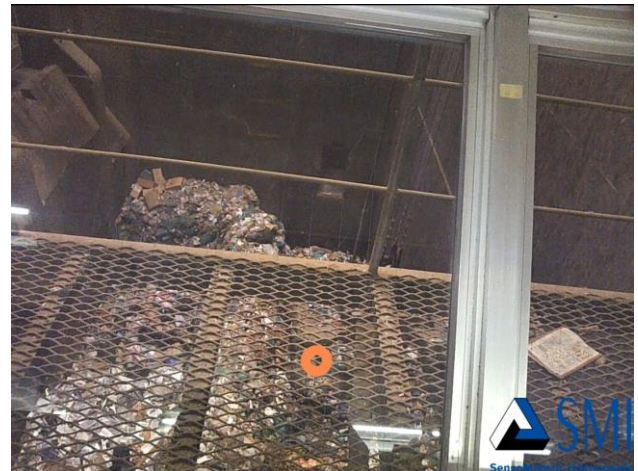


図1 評価用動画データ一例

5 想定する自動ごみ処理施設

想定する自動化されたクレーン操作システムのイメージを図2に示す。想定システムは大きく3つの構成部分に分解できる。1. データ取得部分、2. 知識ベースと推論機構、3. クレーン操作部。1つ目は、ごみ処理施設の状況を取得するセンサ集合である。従来のクレーン操作時にはクレーン操作員の感覚器に相当する。この構成部分では、センサの出力する数値データを予め決められた定性値に変換するモジュールが必要となる。2つ目は、本稿の2章、3章で述べたごみ処理施設の状況とクレーン操作を示すカテゴリ値及びクレーン操作を判定するためのルール集

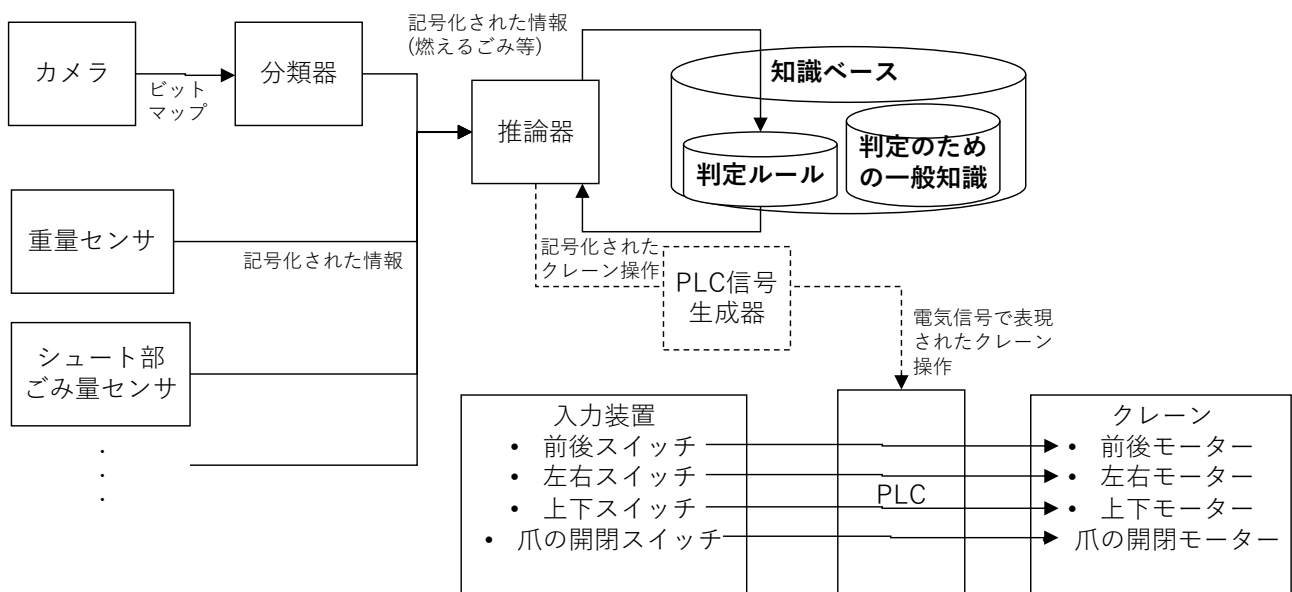


図2 クレーン操作の自動化システムイメージ

合（知識ベースと呼ぶ）と、知識ベースとセンシング情報を照合する推論器である。知識ベースはセンシング情報を定量化する際のカテゴリ値と、センシング時点でのごみ処理施設の状況に適したクレーン操作を判定する際の判定ルールを提供する。推論器は一般的なプロダクションシステムにおける推論器と同様に、適合するルールの選択と競合解消機能を有する。3つ目は、推論器が選択した判定ルールの行動部に記述されたクレーン操作に対して、その操作と同等の動作を行うような Programmable Logic Controller (PLC) 用信号を生成する PLC 信号生成器と PLC によって動作するクレーン操作システムから成る。PLC 信号生成器を適切に設計することが出来れば、クレーン操作システムは人間が使うものに対して、PLC 信号を送ることでクレーン操作の自動化が実現できる。

6 関連研究

Šuc and Bratko はクレーン操作や飛行機等の複雑な動的システムの制御のために、操作員の操作による軌跡を学習し、再現する方法を提案している[14]。実験対象としているタスクは Acrobot (2つの振り子をつないだもの) の Swing-up task (垂直下方向に垂れ下がった Acrobot を垂直上方向に立てるタスク) であり、フィードバック情報として利用しているものは制御対象である Acrobot そのものの状態のみであり、本研究が対象とする制御対象以外の状況から制御内容を決定するタスクとは異なっている。周囲の状況から対象を制御するタスクとして Autonomous Vehicle の研究がある。Zhao らは, map, control, car のオントロジーを構築し, それぞれに基づいて構築したインスタンス情報と交通ルールを SWRL で形式化したルール集合を用いて実機での自動運転を実現している[13]。

一方, 本取り組みを従業員の持つ知識やノウハウを形式化し, 管理するという知識管理の取り組みとして見ることが出来る。特に 100 名以下の小規模の企業や事業所 (SME: Small Medium Enterprise) 内の知識管理の重要性はいくつかの研究で指摘されている[15, 16, 19]。特に, Cerchione らによると, 研究トピックは知識管理へ影響を与える因子を明確化するもの, 経営への影響を明確化するもの, 知識管理を促進するシステムに関するものに分けられ, それぞれ対象が SME そのものか SME network かによって細分化される。本研究は, 知識管理を促進するシステムに関しての内, 実践に向けたケーススタディに位置付けられる。また, Gavrilova らは business ontologies を構築することが, 暗黙的であった知識の明示化に貢献し得ることを主張している[17]。同様

に, Mansingh らもオントロジーに基づく知識マップを作ることで, 従業員による判断を要するような知的業務の外部委託しやすくすることができると主張している[20]。これらの研究での”オントロジー”は概念化の明示的規約[24]とは異なり, 語の統一と図的表現を主に指していると思われるが, 知識の外化が目的である点は本研究とも共通している。実際に効果を指摘している研究として, Astorga-Vargas らは, Nonaka and Konno の SECI モデル (Socialization, Externalization, Combination, Internalization) [22]に基づいて, ソフトウェア工学を学ぶ学生が, 暗黙知 (tacit knowledge) と形式知 (explicit knowledge) を相互に変換する過程が知識の習得と企業文化への習熟に効果的であることを述べている。

7 結論

本稿では, 廃棄物資源循環のサイクルにおける燃焼設備を持つごみ処理施設におけるクレーン操作の自動化に資するセンシング情報の整理とクレーン操作員の知識をルール化する取り組みについて報告した。

3 名のクレーン操作員によるクレーン操作の観察と非構造化面接を通して, 36 項目から構成される質問紙を作成し, 5 つの施設に対して, 質問紙調査を実施した。その結果を基に, 12 の質問項目に対する回答にクレーン操作員のノウハウが多く含まれていることを同定し, 実務者との議論を通して, クレーン操作を生起するルールについて 29 種類を同定した。同定したルールの形式化には OWL と SWRL を用いることを検討した。構築したルールの評価方法について検討し, 今後評価を実施する予定である。

参考文献

- [1] 小浦洋平, 山瀬康平, 川端馨, 小貫由樹雄, 平林照司: ごみピット 3 次元マップ技術を用いたごみクレーン自動運転システムの運用効果, 第 28 回廃棄物資源循環学会研究発表会, C1-2, pp. 271-271 (2017)
- [2] 一般社団法人廃棄物資源循環学会: 学会案内, https://jsmcwm.or.jp/?page_id=6
- [3] United Nations: Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Resolution adopted by the General Assembly. (2015)
- [4] Ministry of Economy, Trade and Industry: Towards a 3R-Oriented, Sustainable Society: Legislation and Trends (2010)
- [5] 環境大臣官房廃棄物・リサイクル対策部廃棄物対策課: 日本の廃棄物処理平成 27 年度版. (2017)
- [6] 福岡義人, 藤川博之, 松田吉司, 渡瀬雅也, 松藤敏彦: ごみ焼却施設における排ガス成分測定にもとづく発

- 生熱量および廃棄物低位発熱量推定と燃焼制御の改善, 廃棄物資源循環学会論文誌, Vol. 29, pp. 8-19. (2018)
- [7] 竹田航哉, 山本浩, 青木勇, 富岡修一, 橋本隆史, 川端馨: ごみ処理施設における ICT, AI 技術等の活用事例について, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 29, No. 3, pp. 228-236. (2018)
- [8] SMI Eye tracking grasses: <https://www.smivision.com/>
- [9] Henderson, H.: Encyclopedia of Computer Science and Technology, Facts on File, New York (2009).
- [1 0] Noy, N., Rector, A.: Defining N-ary Relations on the Semantic Web, <https://www.w3.org/TR/swbp-n-aryRelations/> (2006).
- [1 1] W3C OWL Working Group: OWL 2 Web Ontology Language Document Overview (Second Edition), <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/> (2012).
- [1 2] Horrocks, I., Patel-Schreider, P. F., Boley, H., Tablet, S., Grosz, B., Dean, M.: SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML, <https://www.w3.org/Submission/SWRL/> (2004).
- [1 3] Zhao, L., Ichise, R., Liu, Z., Mita, S., Sasaki, Y.: Ontology-Based Driving Decision Making: A Feasibility Study at Uncontrolled Intersections, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E100-D, No. 7, pp. 1425-1439 (2017).
- [1 4] Šuc, D., Bratko, I.: Skill Modeling Through Symbolic Reconstruction of Operator's Trajectories, IFAC Automated Systems Based on Human Skill, Vol. 30, No. 24, pp. 41-44 (1997).
- [1 5] Malecka, J.: Knowledge Management in SMEs: In Search of a Paradigm, Proceedings of 19th European Conference on Knowledge Management, pp. 485-493 (2018)
- [1 6] Łuczka, T., Malecka, J.: Knowledge Management in Micro and Small Enterprises in Poland, Proceedings of 19th European Conference on Knowledge Management, pp. 476-484 (2018)
- [1 7] Gavrilova, T., Leschcheva, I., Strakhovich, E.: Gestalt Principles of Creating Learning Business Ontologies for Knowledge Codification, Knowledge Management Research and Practice, Vol. 13, pp. 418-428 (2015)
- [1 8] Astorga-Vargas, M. A., Flore-Rios, B. L., Licea-Sandoval, G., Gonzalez-Narvarro, F. F.: Explicit and Tacit Knowledge Conversion Effects, in Software Engineering Undergraduate Students, Knowledge Management Research and Practice, Vol. 15, pp. 336-345 (2017)
- [1 9] Cerchione, R., Esposito, E., Spadaro, M. R.: A Literature Review on Knowledge Management in SMEs, Knowledge Management Research and Practice, Vol. 14, pp. 169-177 (2016)
- [2 0] Mansingh, G., Osei-Bryson, K., Reichgelt, H.: Building Ontology-based Knowledge Maps to Assist Knowledge Process Outsourcing Decisions, Knowledge Management Research and Practice, Vol. 7, pp. 37-51 (2009)
- [2 1] Innan, R., Moustaghfir, K.: Explicating Employees' behaviour for an Effective Subscription to Healthcare Policy: an Application of the Theory of Planned Behaviour, Knowledge Management Research and Practice, Vol. 13, pp. 497-507 (2015)
- [2 2] Nonaka, I., Konno, N.: The concept of "ba": Building a foundation for knowledge creation. California management review, Vol.40, No.3, pp.40-54 (1998).
- [2 3] O'Connor, M. J., Das, A.: The SWRLTab: An Extensible Environment for Working with SWRL Rules in Protégé-OWL, Proceedings of 2nd International Conference on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web, 2 pages (2006)
- [2 4] Gruber, T. R.: A Translation Approach to Portable Ontology Specifications, Knowledge Acquisition, Vol. 5, No. 2, pp. 199-220 (1993)