

平成 30 年度環境省請負業務

平成 30 年度先端的な情報通信技術等を活用した  
産業廃棄物処理の低炭素化に係る調査業務報告書

JFE 環境株式会社

## 目次

1. 調査の背景と目的 .....	3
1.1 背景 .....	3
1.2 目的 .....	3
2. 調査の実施概要 .....	5
2.1 調査の全体像.....	5
2.2 調査項目 .....	5
2.3 報告書の構成.....	6
3. 先端的な情報通信技術活用の先行事例 .....	7
3.1 ヒアリングの実施概要 .....	7
3.2 ヒアリング個別結果.....	8
3.3 先行技術活用事例にみられる傾向.....	24
3.4 自動選別ロボット、センサー選別機器の技術動向 .....	26
4. 先端的な情報通信技術に対する事業者の取組とニーズ .....	30
4.1 ヒアリングの実施概要 .....	30
4.2 ヒアリングから得られた事業者の取組とニーズの傾向 .....	32
4.3 ヒアリング個別結果.....	33
5. 先端的な情報通信技術を活用した産業廃棄物処理の低炭素化の方向性 .....	59
5.1 ヒアリング（先行事例、事業者）から得られた先端技術活用の動向 .....	59
5.2 低炭素化の方向性 .....	60
5.3 低炭素化における先端的な情報通信技術の役割 .....	61
5.4 先端的な情報通信技術活用に向けた基盤整備.....	62
6. 有識者へのヒアリング結果.....	64
6.1 ヒアリングの実施概要 .....	64
6.2 ヒアリング結果.....	64
7. 産業廃棄物処理分野における先端情報通信技術の活用施策・シナリオと基準案.....	69
7.1 活用施策・シナリオ案.....	69
7.2 施策 1) 情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進.....	71
7.3 施策 2) 廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化支援.....	82
7.4 施策 3) 収集運搬（廃棄物物流）の効率化支援.....	87
7.5 その他の先端技術活用施策.....	92
8. 施策の方向性まとめ .....	94

## 1. 調査の背景と目的

### 1.1 背景

我が国の産業を取り巻く政策的な動向として、第五次環境基本計画による「地域循環共生圏」、第5期科学技術基本計画による「Society 5.0」、世界的な潮流である「SDGs」などが提唱され、これを受けて経団連においても「Society 5.0 for SDGs」を策定するなど、様々な形で取組が推進されている。一方技術面では、ドイツを起点に製造業のデジタル化・コンピューター化を目指す「インダストリー4.0」の取り組みが始まり、その日本版である「コネクテッド・インダストリーズ」により、製造現場における正確なデータのIoT（モノのインターネット）/AI（人工知能）分野への活用など、先端情報通信技術の活用が進められている。これらの政策・取組においては、エネルギーマネジメント、省エネ、事業者間連携、物流、メンテナンス、低炭素型の商品開発、シェアリングなど、低炭素化に寄与するソリューションも多く含まれている。

このような環境下で、平成30年6月に閣議決定された「第4次循環型社会形成推進基本計画」においては、収集運搬から最終処分までの一連の廃棄物処理システム全体の低炭素化を推進することが掲げられている。また、国内全体としての労働力人口の減少から産業廃棄物処理業者においても担い手不足が顕在化していることから、生産性の向上等が喫緊の課題となっている。

産業廃棄物処理業においては人手不足の解消方策の一つとして、IoTやAI等の先端技術の導入による処理過程の効率化や省力化の取組が始まっている。第4次循環計画においては、循環分野における技術開発、最新技術の活用と対応の一つとして、人口減少による担い手不足と循環産業の生産性向上に向け、IoTとデータ分析技術の組合せによる廃棄物収集の効率化やセンシング技術・ロボット技術・AIを駆使した高度選別技術等の普及促進に取り組むことが掲げられている。

これらの効率化や最適化は、廃棄物の収集運搬に係る走行距離の削減や空車率の低減、選別等の中間処理に必要な電力等のエネルギー使用量削減につながり、ひいては廃棄物処理・リサイクルシステム全体の低炭素化に資するとともに、処理等の効率化・高度化による循環産業の競争力強化にも寄与すると考えられる。

### 1.2 目的

本調査では、産業廃棄物処理業における先端的な情報通信技術等の活用状況や当該技術の活用促進に向けて、業界内における先進的な取組状況を把握するとともに、具体的な推進が可能な分野・技術に関する最新情報を把握することを目的として、国内の主要な産業廃棄物処理事業者や設備メーカー、システム関連事業者等に対してヒアリング調査を行った。

また、産業廃棄物処理における低炭素化対策のさらなる推進に向けて、ヒアリング等の調査結果をもとに、業界有識者の意見も踏まえた廃棄物処理・リサイクルシステムの低炭素

化及び生産性向上に資する施策の検討、シナリオの提示を行うとともに、シナリオごとの温室効果ガスの排出削減効果等を推計した。

## 2. 調査の実施概要

### 2.1 調査の全体像

本調査全体の進め方を図 2-1 に示した。

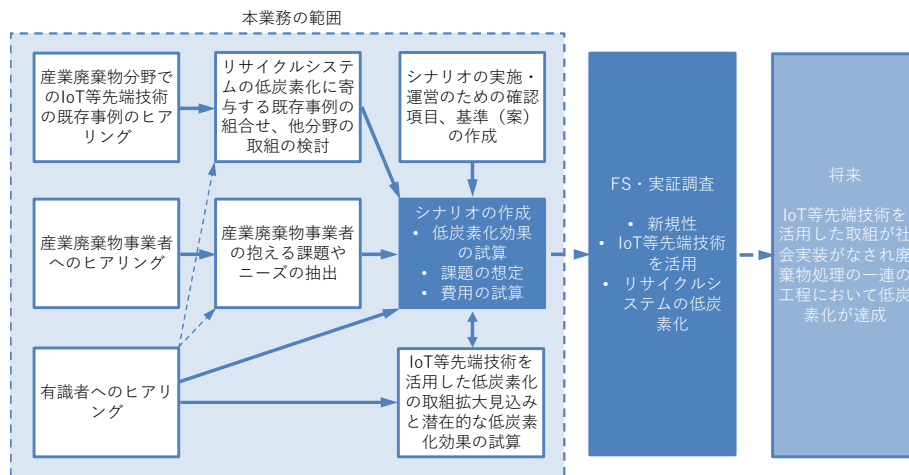


図 2-1: 調査の全体像

### 2.2 調査項目

本調査は大きく「(1) 先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組事例等の調査」「(2) 先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組の検討」「(3) 有識者等に対する意見聴取」「(4) 報告書の作成」から構成される。

#### (1) 先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組事例等の調査

産業廃棄物処理の収集、運搬、中間処理及び最終処分各工程（廃棄物由来のエネルギーの回収・利用を含む）における先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組事例（FS・実証事業、設備導入等）について調査し、取組実施に至った経緯・目的、導入したシステムの概要、要した費用、効果（コスト削減、温室効果ガス削減、生産性向上等）、導入に至った成功要因等を整理した。

また、産業廃棄物処理分野における先端的な情報通信技術等の技術開発の動向について調査し、技術概要・開発目的、実用化の見込み、技術の活用による低炭素化への効果等を整理した。

調査にあたっては、処理事業者等に対してヒアリングを実施した。

#### (2) 先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組の検討

産業廃棄物の収集・運搬・処理・リサイクル工程の効率化及び最適化による電力・燃料エネルギー使用量の削減によるコスト削減や、労働作業の効率化・省力化による生産性向上

等の観点から、(1)で調査した既存事例の課題を踏まえつつ、今後必要と考えられる産業廃棄物処理（廃棄物由来のエネルギーの回収・利用を含む）における先端的な情報通信技術等の活用による低炭素化の取組並びに社会実装までのシナリオを複数作成した上で、その効果的な取組の実施・運営のために確認すべき項目及び基準（案）を作成した。また、取組の実施にあたっての課題、想定される費用等を整理するとともに、温室効果ガス削減効果の算定方法を検討し、温室効果ガス削減効果を試算した。

検討にあたっては、(1)の既存事例の取組を組み合わせるなど収集から処理までの一連の工程において低炭素化が可能であるものや、廃棄物処理分野以外の取組や技術を応用するなど、今後FS・実証が必要な新規性のあるものを検討した。また、産業廃棄物の種類、性状、処理方法、事業規模等に応じて、事業者の抱える課題やニーズ等に対応した解決策となるよう、産業廃棄物処理事業者等に対してヒアリングを行った。

また、産業廃棄物処理業界における先端的な情報通信技術等を活用した低炭素化の取組の拡大の見込み及び潜在的な業界全体の温室効果ガス削減効果を試算した。

### (3) 有識者等に対する意見聴取

(1)及び(2)の実施にあたって、有識者（学識経験者（廃棄物処理関連）等）への意見聴取を実施し、調査内容に反映した。

### (4) 報告書の作成

(1)～(3)の結果について、報告書を作成した。

## 2.3 報告書の構成

本報告書では、次のような構成で調査結果を示した。まず3章と4章で、それぞれ先行事例（調査項目1）と事業者へのヒアリング（調査項目2）結果を示した。次に5章では、ヒアリング結果を踏まえた低炭素化の方向性を示した（調査項目2）。6章では、有識者へのヒアリングを実施した結果を示した（調査項目3）。これらを踏まえ、7章では施策と個別シナリオの内容や低炭素化効果、社会実装への道筋等を検討した内容を示し（調査項目2）、8章で施策の方向性について調査全体をとりまとめた。

### 3. 先端的な情報通信技術活用の先行事例

3章では、産業廃棄物処理における先端的な情報通信技術の先行事例についてヒアリング調査を行った結果を示す。

3.1節ではヒアリング調査の実施概要を示し、3.2節では個別のヒアリング結果を事業者ごとに示した。ヒアリングから得られた先端的な情報通信技術活用の現状について3.3節で傾向をまとめるとともに、特に技術進化が目覚ましい物理選別分野（選別ロボット、センサー選別機器）について3.4節で文献調査による追加情報を示した。

#### 3.1 ヒアリングの実施概要

##### (1) 目的

産業廃棄物処理分野における先行事例とその経緯、成功要因について調べるとともに、横展開の可能性を検討するため、産業廃棄物処理分野において既に先端的な検討や技術導入を進めている事業者へのヒアリングを実施した。

さらに、収集した先行事例では、取り組み経緯、システムの概要、成功要因、技術概要等も整理した。また、先端的な情報通信技術の実現においてはIT/ロボット/プラットフォームベンダー等の新しい企業の役割や、シェアリング/従量課金などのビジネスモデルが重要であることから、従来型企业とデジタル企業の連携などのソリューション開発体制についてもヒアリングを行った。

##### (2) ヒアリング調査の方法

文献検索等により収集した事例からヒアリング対象となる取組事例を選定し、産業廃棄物処理事業者を中心に、各取組の経緯等についてヒアリングを行った。あわせて技術開発動向把握のため、ソリューション提供事業者へのヒアリングも実施した。

なお、産業廃棄物処理の工程は大きく収集運搬、中間処理、最終処分にわかれる。ヒアリングの事前検討では、収集運搬と中間処理に加え、最終処分についても低炭素化に資する先行事例を探す事例検索を行った。しかし、現時点では省力化の取組の検討がはじまったばかりで顕著な低炭素化事例を抽出できなかった。そこで、最終処分における情報通信技術活用については4章の事業者ヒアリングにニーズと検討状況を記載した。

ヒアリングを実施した事業者を表3-1にまとめた。

表 3-1: 先端技術活用の先行事例ヒアリング先

対象事業者	工程	先端技術活用事例
A 社	収集運搬	AI 配車による収集運搬
B 社	中間処理	自動選別ロボット
C 社	中間処理	自動解体（ネジ外し）ロボット
D 社	中間処理	LIBS ソーターと品質標準化の取組
E 社	中間処理	焼却炉・ごみ発電の燃焼最適化
F 社	全工程	廃棄物関連 IT システム

### (3) ヒアリング内容

先行事例の詳細を把握するため、下記項目についてヒアリングを実施した。

- 取組実施に至った経緯・目的、導入したシステムの概要、要した費用、効果（コスト削減、温室効果ガス削減、生産性向上等）
- 技術概要、開発目的、実用化の見込み、技術の活用による低炭素化への効果
- 採用技術の優位性、実用面での制約等
- 開発体制の選択経緯、選択基準、ビジネスモデル（買い切り、サブスクリプション等）

## 3.2 ヒアリング個別結果

### 3.2.1 AI 配車による収集運搬

対象者	A 社
日時	2月6日（水）15時30分

#### (1) 背景

- 産業廃棄物処理のコストの中で、収集運搬費用が全体の 50%を占めるにもかかわらず、効率化が進んでおらず、解決策もない状況である。中国の廃棄物輸入規制等で処理コストが増加する中、廃棄物物流（収集運搬）の効率化／革新は、業界の維持発展に重要と考えている。



## (2) IoT等先端技術の活用事例

①人工知能（AI）を用いた自動配車システム	
②ICT技術（音声認識・画像認識）を用いた作業標準化システム	
対象廃棄物・工程	①②事業系一般廃棄物・産業廃棄物（一部、民間収集の家庭系一般廃棄物）の収集運搬
システム構成	①AI(遺伝的アルゴリズム)を活用した配車システム ②スマートフォン、インカムマイク、ヘッドフォン、音声認識アプリケーション、ドライブレコーダー、画像認識ソフト
コスト	今後の実証開発に数千万円程度を想定
効果	①平均 15%のパッカー車走行時間の短縮
課題	①AIの造りこみ、IoT時代にふさわしい規制のありかた

### ①システムの概要

#### 1) 人工知能（AI）を用いた自動配車システム

対象工程は事業系一般廃棄物（区収集のごみを除く、可燃ごみ、生ごみ、紙くず、木くず、など）および産業廃棄物（資源物を除く、定期の不燃ごみ、ビニール・プラスチックなどの不燃ごみ）、一部、民間収集の家庭系一般廃棄物の収集運搬である。実施エリアは地域企業の取組への賛同が必要なため、環境問題に先進的に取り組んでいる自由が丘商店街およびその周辺地域（目黒区・世田谷区）と設定した。当該地域では夜間収集を実施しているため、昼間回収実施地域として、中央区、荒川区、葛飾区のご協力いただいた排出事業者のデータも活用した。連携収集の取組に参加したのは3社である。対象地域における3社の収集運搬の実態調査に基づくIT配車システムによるシミュレーションと実走行検証を実施し、収集運搬の総所要時間、走行距離、必要車両台数、およびCO2排出量に及ぼす効果を試算した。

連携収集の確立は、現状調査、連携シミュレーション、シミュレーションの妥当性調査、効果の試算というプロセスを経て行った。現状調査では、連携3社から事前に回収場所（約450ヵ所）の住所、回収実績量・回収所要時間のデータの提供を受け、回収場所ごとの調査票を作成した。調査票のデータは実走試験時に活用した。連携シミュレーションは現状調査のデータを踏まえ、IT配車シミュレーターを活用して連携収集の最短ルート、時間を試算した。シミュレーションの妥当性評価はシミュレーションルートを実際に走行し、試算したルート、時間の妥当性を評価した。効果の試算においては、23区全体における効果を試算した。

活用したIT配車システムは、AI（遺伝的アルゴリズム）を用いた動脈産業向けの自動配車システムを、静脈産業で活用できるよう再構築したものである。

#### 2) ICT技術（音声認識・画像認識）を用いた作業標準化システム

排出事業者のごみの種類・数の把握と計量を統一化するための作業標準化を行った。作業標準化の手法として収集運搬の作業現場で導入可能性の高い音声認識および画像認識を検討した。音声認識は市販されているスマートフォン、インカムマイク、ヘッドフォン等のデバイスとスマートフォンにインストールした音声認識アプリケーションで行った。作業者が排出場所情報、廃棄物の種類、ゴミ袋の大きさ・種類・数量を読み上げ、音声認識アプリケーションがデータ・コード化し、情報をスマートデバイスに登録した。画像認識は収集運搬車両後部の投入口上部に設置したドライブレコーダー用カメラと専用の画像認識ソフトを活用した。投入状況をカメラで撮影し記録、画像認識ソフトによって投入されるゴミ袋の個数や大きさを自動で検出、定量化を行った。

## ②導入に至った背景

産業廃棄物処理のコストの中で収集運搬費用が全体の50%を占めるにもかかわらず、効率化が進んでいない。中国の廃棄物輸入規制等で処理コストが増加する中で、収集運搬の効率化によりコスト削減を進めることの重要性が増している。これまでは同一地域内でも複数事業者の収集運搬車両が輻輳して廃棄物を回収しており、同一地域を各社が似たようなルートを辿って回収するという無駄が生じていた。これにより各社の車両の走行距離が長くなるだけでなく、収集運搬に必要な車両台数が多くなり、回収時間とコスト、CO<sub>2</sub>排出量を抑制できないという問題があった。

## ③導入の経緯

複数社による収集で、走行時間の短縮、コスト削減、CO<sub>2</sub>排出量の削減を試みた。複数事業者の連携配車を効率的かつ公平に行ううえで、AI活用が重要である。AIを活用することで、複雑な配車計画やルートを迅速作成でき、ルールに基づく公平性を担保し、参加事業者の納得感を得られる。自動配車システムは動脈側自動配車システムベンダーと共同開発し、H28、29年度に東京都の事業としてモデル事業を実施。現在はさらに、検討を進めている。今後の実証開発に数千万円程度を想定している。

作業標準化システムは、将来的にドライバーの負担を削減する将来像を作る目的で作成した。

## ④導入の効果

収集運搬に伴うCO<sub>2</sub>排出量の約15%を削減可能（東京23区で1.1万tCO<sub>2</sub>/年）。

全国の産業廃棄物物流コスト削減で3800億円（全体の10%）のコストを合理的に削減（同時に利益の5%増加を達成できると推計）。

## ⑤課題

共同収集の自動配車はAIのさらなる造りこみが必要である。

### (3). 先端技術活用における今後の方向性

#### 【AI 配車】

AI 配車は複数業者の複雑な配車計画や最適ルートを選定を迅速に行うだけでなく、ルールに基づく公平性を担保するためにも必要な技術であるが、人間と同レベルの配車を実現するためには今後さらなる AI の造りこみが必要である。連携収集の活用の次の段階として、収集運搬の受付を一元化する連携収集運搬受付センターの検討を進めたい。これを発展させていくことで、静脈アマゾン、静脈 UBER、廃棄物プラットフォームのような形を構築できる可能性がある。共同収集による業務効率化の取組は収集運搬の低炭素化につながるため、研究開発や実現可能性調査に対して環境省からご支援を頂ければ全国に同様の取組が広がるだろう。これらの取組は、公益性が高い形で実現することが可能と考えている。

#### 【その他】

IoT 技術を活かした信頼性と効率性を両立する規制の在り方検討を期待する。

#### 3.2.2 自動選別ロボット

対象者	B 社
日時	2 月 12 日 (火) 13 時

#### (1) 背景

- 産業廃棄物を主とした収集運搬、中間処理業。
- 2016 年、建設系廃棄物の分別工程に、国内初、世界で 5 番目の AI 搭載選別ロボットを導入。

#### (2) IoT 等先端技術の活用事例

ゼンロボティクスリサイクラーを中心とする混合廃棄物自動選別システム	
対象廃棄物・工程	建設系混合廃棄物の選別
システム構成	可視光、近赤外カメラ、金属センサー、3D センサースキャナ、高速コンベア、ロボットアーム、AI および前・後工程の処理設備
コスト	15 億円 (ロボット 2 ユニットと前・後工程設備)
効果	生産性の向上、リサイクル率の向上
課題	最適条件の設定、故障頻度

#### ①システムの概要

対象としている廃棄物は建設系混合廃棄物 (廃プラ、紙くず、木くず等) である。ゼンロボティクスリサイクラーは可視光、近赤外カメラ、金属センサー、3D センサースキャナ等の投入された廃棄物の種類や大きさ、位置を把握するための各種カメラ、センサー、廃棄

物を運搬する高速コンベア、認識した廃棄物を自動で選別するロボットアーム 4 本から構成される。また、ゼンロボティクスリサイクラーにはカメラ、センサーから得られた情報を基に廃棄物を特定し、高速で運搬される廃棄物の位置を補足し、ロボットアームを操作し廃棄物を掴むための AI システムおよびその他制御システムが搭載されている。

建設系混合廃棄物は二軸破碎機に投入、破碎後、定量供給機から投入コンベヤー、バリオセパレーターに投入される。バリオセパレーターでは傾斜揺動により軽量物・細粒物・重量物に選別される。重量物は磁選機を経てロボット選別機（ゼンロボティクスリサイクラー）に至る。ゼンロボティクスリサイクラーでは、コンベヤーで運ばれて来る廃棄物を各種カメラ・センサーで特定し、4 本のロボットアームが紙くず、木くず、がれき類、廃プラ、石膏ボード、ガラス類を選別する。選別されずに残った廃棄物は作業員二人が危険物混入をチェックしたうえで破碎機に投入・破碎後に、比重選別、風力選別、非鉄選別機等を経て、各種に分別される。軽量物はバリオセパレーター後に手選別で分別、細粒物はゼンロボティクスリサイクラーで選別されずに残り破碎された廃棄物と合わせて分別される。

## ②導入に至った背景

これまで混合廃棄物の選別は手選別で行っており、長時間ホコリが舞う環境で重量物を扱う過酷な作業であった。この所謂”3K”職場を改善しなくてはいけないという思いを常に持っていた。また、廃棄物処理施設自体も、10、15 年前と比べて周りの目は変わってきたが、まだまだ迷惑施設という見方をされていて、産業廃棄物処理を他業種にも誇れる職業にするためのイメージアップ戦略の必要性を感じていた。そんな中、業界の人手不足が深刻化した。工場の稼働を維持するためには選別工程に 20 人×3 交代=60 人が必要だったが、過酷な作業のため必要人員が集まらなくなった。そこで、手選別に代わる新たな選別法として、機械による自動選別に目を付けた。対象とした廃棄物は、廃棄物の量を集められる見通しがあつた建設系混合廃棄物とした。

## ③導入の経緯

手選別を代替する選別法として最初に検討したのは光学選別機であった。光学選別機は業界でも普及しており、導入を検討したシステムは 6000 万円程度であった。光学選別機の導入の決定後、自社は光学選別装置導入の後発であり設備を導入してもアピール効果が低いことや光学選別システムが柔軟性に欠くことなどの懸念が払拭されず、他の手法を検討した。その際、社長自らフィンラインドのゼンロボティクス社に行ってゼンロボティクスリサイクラーを見学し、システムの拡張性と分別精度に感銘を受け導入を即決した。設備導入に際しゼンロボティクス社からは一顧客として以上の協力を受け、設備導入後も継続的な手厚いフォローがある。また現在では、ゼンロボティクス社のテスト品の試験のフィールドとして自社を提供し、データの提供や意見交換を行っている。

導入コストは 15 億円であり、ゼンロボティクスリサイクラー、（前工程）バリオセパレーター、破碎機、（後工程）比重選別機、非鉄選別機、ジャンピングスクリーン等設備を

む。システム利用料は 8 ユーロ/時×2 台である。また、導入にあたっては経済産業省平成 28 年度ロボット導入実証事業に採択された。

#### ④導入の効果

これまでの手選別では 10 人で一日当たり 5.6 t の建設系混合廃棄物の選別が限界であったが、設備導入後は作業員 2 人（選別チェック）で、一日当たり 500 t の処理が可能となり生産性が大幅に向上した。また、手選別では 20% 程度であったリサイクル率が、自動選別では最終処分場に埋め立てられる量が 20%（うち管理型は 1%）となり割合が逆転した。廃プラスチックについては、現在一日 50 t 程が選別され、RPF 燃料化もしくはサーマルリサイクルが行われている。労働環境は大幅に改善し、作業員は適切に設備が稼働し正確に廃棄物を選別できているかをチェックするだけである。副次的効果として、作業員の仕事へのモチベーションが向上し、設備導入後作業員は一人も辞めていない。コスト面では、必要人員が減ったことで人件費が削減でき、設備のランニングコストを含めてもコスト削減が達成されている。低炭素化効果については、当該システムは現段階では発展途上であり、議論するのは時期尚早であると考えており、調査は実施していない。

#### ⑤課題

##### 1) ゼンロボティクスリサイクラーの性能を引き出すための検証

ゼンロボティクスリサイクラーの性能を引き出すためには、設備を導入するだけでは足りず、設備をどのようにセッティングするか、前・後工程でどのように処理するかなどのノウハウが必要で、これによりシステム全体の効率は大きく変わる。例えば、全ての廃棄物を細かく分けることは性能的には可能だが、実際に精密に分けると処理速度が低下する割にリサイクル率が向上しなかった。ロボットの性能を引き出すためにはロボット選別を前提とした最適な前・後工程での処理の検証を行う必要がある。

##### 2) 設備の安定稼働

現状では設備の故障が多く、可動部であるアームや多数搭載されている精密備品の故障が特に多い。導入直後は 1 カ月毎に部品が破損していたが、現在では 3 カ月毎の部品交換で済むようになった。故障の原因は、工場内の気温（夏場の高温、冬場の低温）、工場内を舞うほこり、振動などであり、精密機器であるゼンロボティクスリサイクラーには劣悪な環境である。

##### 3) 危険物検知性能

ライターやスプレー缶等の危険物の検知性能が不十分なため、完全な無人化はまだ達成できていない。ほとんどの場合は危険物の混入はないが、安全のため選別チェックに 2 人の作業員が必要である。選別チェックが不要になればもっと処理速度を上げることが可能である。

##### 4) 産業廃棄物処理業の許可の問題

手選別の場合と比較し一日の処理量が大幅に増加するため、導入に当たり処分業の許可

を取り直す必要がある。

### (3) 先端技術活用における今後の方向性

#### 【AI 搭載ロボット選別機の可能性】

最近では、ロボット選別機メーカーも複数社出てきているが、ゼンロボティクスリサイクラーを含めたロボット選別は発展途上の技術であり、ロボット導入による低炭素化効果を議論するのは時期尚早のように感じる。現在、自社では建設系混合廃棄物に対して活用しているが、様々な廃棄物（企業系廃棄物等）に対してロボット選別は有効な可能性が高い。しかし様々な廃棄物に対してロボット選別の有効性を示す性能試験は世界的に見てもほとんど行われておらず、自社だけでは行える性能試験に限界がある。今後のロボット選別の普及のためには、各社マシンの性能比較・特性把握を行い、ロボット選別は何の廃棄物に対してどれだけ使える技術なのかを検証する必要がある。今後は AI による判断・制御が様々な工程に入り込むことは必至で、そう遠くない将来、廃棄物処理は劇的に進歩するだろう。

#### 3.2.3 自動解体ロボット

対象者	C 社
日時	2 月 28 日（木） 13 時 30 分

#### (1) 背景

- 2005 年の家電リサイクル法制定に伴って設立。
- 家電四種（エアコン、テレビ、洗濯機、冷蔵庫）のリサイクルを行っており、年間 57 万台、累計 700 万台の処理を行っている。
- 東日本には冷蔵庫のフロン回収施設が 2 か所（1 か所は青森）しかないため、山形県や福島県からも冷蔵庫が運搬されてくる。
- リサイクル率は冷蔵庫が最も高く 95%、ブラウン管が最も低く 73%。メーカーが作ったリサイクル工場という強みを生かして、他の業者よりもリサイクル率が高い。

## (2) IoT等先端技術の活用事例

①自動ねじ外しシステム、②冷蔵庫 POS システム、③自動搬送ロボット	
対象廃棄物・工程	①薄型 TV の基盤のねじ外し ②大型家電の在庫の自動管理・個体管理 ③大型家電の工場内搬送
システム構成	①画像認識、ベルトコンベヤー、ロボットアーム、電動ドライバー（特殊ジグ） ②在庫管理システム、標準クレーン（最大 222 台）、バーコード管理 ③自動搬送ユニット（最大 400kg）
コスト	①4000 万円、②1 億円以上、③不明
効果	①ロボットによる代替と人員配置転換により、処理量が 1.5 倍に増加。 ②労働環境が大きく改善、24 時間稼働も可能。 ③労働環境が大きく改善。
課題	①全てのねじを外すことはできない（見えている M2-M6 に限る）。 三次元でのねじ外しはできない（現在はテレビのみ）。

### ①システムの概要

#### 1) 自動ねじ外しシステム

薄型テレビの基盤のねじ外し工程に導入した。カメラ、ベルトコンベヤー、ロボットアーム、電動ドライバー（特殊ジグ）と画像認識ソフトから構成される。コンベヤーで薄型テレビを連続搬送しながら、カメラでテレビの背面カバーやプリント基板のねじを検知、複数台のロボットが追跡してねじを取り外す。取り外すねじの本数に応じてコンベヤーの速度を自動で調整する機能を備えているため、ねじの本数が少ない場合には搬送速度を速くするなど効率的に分解することが可能である。背面カバーのねじで 80%、プリント基板のねじで 90%以上の精度でねじを取り外すことができる。ねじの検知と取り外しの処理を同時並行的に行なうことで、ねじ 1 本あたりの取り外し所要時間は 2 秒以下で、55 インチ相当の大型サイズのテレビまで対応する。

#### 2) 冷蔵庫 POS システム

冷蔵庫の在庫の個体管理を行う設備である。標準クレーンにより最大 222 台収納可能である。冷蔵庫はバーコード管理されており、断熱材フロン種の取り違えを起ささないように在庫管理がされている。また、断熱材フロン種によって破碎タクト・解体工程が異なるため、同システムを活用することで生産効率が向上する。

#### 3) 自動搬送ロボット

工場内の大型家電の搬送に利用している。シンプルな 3 輪構造と低重心設計による信頼性の高い優れた走行性能を有し、最大 400 kg まで積載可能。工場内は人の動くエリアと自

自動搬送ロボットが動くエリアが色分けされており、労働災害防止を徹底している。

## ②導入に至った背景

### 1) 自動ねじ外しシステム

2003年からの地上デジタル放送の開始によるテレビの買い替えに合わせて普及した薄型TVが、リサイクルされるようになった。2010年には地上アナログ放送の停波に伴うテレビの買い替え需要により薄型TVの普及率が75.3%にまで増加し、今後大量の薄型TVが定常的にリサイクルされる見込みがあった。また、昨今、薄型TVが大型化し、人の手が基盤を止めているねじまで届かず作業効率の低下が問題となっていた。

### 2) 冷蔵庫 POS システム

大型冷蔵庫は断熱材フロンの種類によって分解工程を分ける必要がある。実際の工場では、時間帯によって処理する断熱材フロンの種が決められており、混ざって持ち込まれた冷蔵庫は断熱材フロンの種ごとに分けられ、個体管理を行った上で保管する必要がある。しかし、冷蔵庫自体が非常に大きく場所を取り、重く簡単には動かすことができないなど、在庫管理業務は作業負荷が高く、作業員の腰痛の頻発が問題となった。

### 3) 自動搬送ロボット

大型家電の工場内搬送は重労働であった。工場内は複数の解体ラインが並び、多くの作業員が働いているため、フォークリフト等車両は安全面で導入できず、ベルトコンベヤーは搬送の柔軟性に欠けるため難しかった。

## ③導入の経緯

### 1) 自動ねじ外しシステム

三菱マテリアルが自社の家電リサイクル工場向けに開発を行っていた。開発・実用化されていたシステムを3年前に導入した。価格は4000万円で、市販されている。

### 2) 冷蔵庫 POS システム

大型冷蔵庫を収納出来て、個体管理できるシステムを制作できそうな企業に打診を行い、ダイフクに制作を依頼した。価格は1億円以上。

### 3) 自動搬送ロボット

大型冷蔵庫(100kg以上)を安定して、安全に運搬できるシステムを検討し、トヨタL&Fの製品を購入。家電の固定技術は自社開発を行った。

## ④効果

### 1) 自動ねじ外しシステム

それまでねじ外し業務に携わっていた作業員を配置転換し、全体での生産性向上を達成、薄型TVの年間処理量がそれまでの1.5倍に増加した。

### 2) 冷蔵庫 POS システム

冷蔵庫 POS システムの導入により、労働環境が大きく改善し、作業員の腰痛の頻度が低



下した。また、断熱材フロン処理の待機時間が減り生産性が向上した。無人稼働できるため24時間稼働も可能である。

### 3) 自動搬送ロボット

自動搬送ロボットにより作業負荷が低下し、生産性も向上した。

## ⑤課題

自動ねじ外しシステムで取り外せるねじは見える M2-M6 のねじに限られ、全てのねじを取り外すことはできない。今は最後に人の手が必要である。また、一つの平面上に存在するねじは取り外すことができるが、三次元での（奥行きのある）ねじ外しはできない。そのため、現在自動ねじ外しシステムが実用化できているのは薄型 TV のみであり、ブラウン管 TV、冷蔵庫、洗濯機、エアコンのねじ外しは現在でも全て人の手で行っている。

## (3)先端技術活用における今後の方向性

### 【工場の近代化と必要な人材】

廃棄物処理工場の最終到達地点は完全自動工場であろう。しかし、実現するまでにはまだまだ時間がかかるだろう。その前にリモートでロボットを動かし、工場には人がいない状態で稼働できる段階を目指すことが現実的である。

工場の近代化のために必要な人材は設備管理担当者と生産管理担当者である。工場の近代化のためには相応の高度な設備の導入が不可欠だが、高度な設備を導入するためには社内に設備管理を担当する技術者が必要である。また、家電リサイクルでは搬入物に対して廃棄物の種類が非常に増えるため、生産管理も大切である。自社では生産管理部門を設置し、操業管理システム（マニフェスト情報から一貫して製品を管理追跡可能）を導入するといった万全の生産管理体制を敷いている。

### 【家電リサイクルにおける情報の重要性】

家電リサイクル工場では、解体ラインが家電毎、種類ごとに分かれているため、解体ラインを組み立てるうえではどの家電がどれくらい排出されるかといった情報が必要となる。例えば、ドラム式洗濯機が出たことで新たにラインを増設、今でも排出される木枠のブラウン管テレビの解体ラインが今でも残っているなど。一方で、家電メーカーは毎年新しい機能を付加した新製品を発売するため、工場では新しい製品が持ち込まれるとどうやってリサイクルすればいいかが分からない場合や、新しい素材・デザインが使われることで新しく工程を組み直さなければいけない場合がある。例えば、冷蔵庫の前ドアにガラスが使われる、新しいセンサーがつくなど。これから高度化・多機能化していく家電に対応するためには、家電メーカーからの製品の情報提供が必要であろう。

一方、家電リサイクル率の向上のための情報連携には難しい面がある。家電は家電メーカーがすべての部品を作っているわけではないので組成情報等をメーカーに問い合わせても分からない。また、実際には色々なサプライヤーから部品の供給を受けていて同じ製品で

も微妙に違う組成のものが混ざっている。素材を組成ごとに細かく分別してしまうと一つの排出物の量が集まらず処理が難しくなってしまうだろう。現在は家電を解体後は破碎を行い、磁力（鉄分離）、風力（ウレタン分離）、過電流（アルミと銅、樹脂の分離）、光学選別（銅、アルミの分離） / （PP、PS、ABS、その他樹脂の分離）を用いて廃棄物の種類ごとに大まかに分別し量を集めて、鉄は鉄スクラップ業者、ウレタンは燃料、非鉄はスクラップ業者、樹脂は樹脂メーカーに排出している。現在の分別精度 95%程度であるが、まだ混入があるためそのままマテリアルリサイクルを行うことはできない。

### 3.2.4 LIBS ソーターと品質標準化の取組

対象者	D 社
日時	2月15日（金）10時

#### (1) 背景

- 産業廃棄物、一般廃棄物の収集運搬・中間処理、鉄スクラップの破碎・選別（製鋼原料の回収）、家電、自動車、二輪車、小型家電リサイクル事業を行う。
- 特にアルミニウム展伸材スクラップから展伸材へのリサイクルシステムの構築に尽力。

#### (2) IoT 等先端技術の活用事例

LIBS ソーター機による元素レベルでの非鉄金属高度選別システム	
対象廃棄物・工程	非鉄金属（特にアルミニウム）スクラップの分別
システム構成	レーザー発振器、レーザー光反射鏡、レーザー分光器、ICCD カメラ、高速コンベア、選別システム
コスト	8000 万円（前・後工程設備含む）
効果	アルミニウム展伸材スクラップの一次溶解の省略による省エネルギー
課題	技術開発途上、リサイクル材の規格化、認証

##### ①システムの概要

対象としている廃棄物は非鉄金属（特にアルミニウム）のスクラップである。LIBS ソーター機はレーザー光を作り出すレーザー発振器、レーザー光を指定の場所に打ち込むためのレーザー光反射鏡、廃棄物から放出される光を取得し分光するレーザー分光器、運搬される廃棄物の位置を認識する ICCD カメラから構成され、廃棄物を運搬するための高速コンベア、合金系列毎に分別するための選別設備が付属する。

##### ②導入に至った背景

人類の利用する金属で鉄に次ぐアルミニウムを持続して社会に提供するために再生資源利用率を高める必要があるが、アルミニウムのスクラップから作られる二次アルミニウム

合金の多くは鋳造材として利用され、展伸材 to 展伸材（製品 to 製品）ができていたのはアルミ缶など限られた一部だけだった。アルミニウムの展伸材スクラップを合金系列毎に分別することができれば、製品にするまでに 2 回必要だった溶融を 1 回省略することが理論上可能であった。

### ③導入の経緯

X 線を用いてアルミニウムのスクラップを合金系列毎に分ける技術が NEDO で検討されていたが、X 線では軽元素の検出が難しく、アルミニウムスクラップを合金系列に分けることはできなかった。その後、X 線に代わる別の技術としてレーザー誘起ブレイクダウン分光法 (LIBS) に注目した。LIBS の技術はフラウンホーファー研究機構 (ドイツ) で見学したが、研究途上であった。LIBS の技術開発は要素技術を持つパートナーを集め、セコピタ社 (レーザー発振装置)、産業技術総合研究所 (位置検出技術) 等の協力のもと開発体制を構築した。開発費は 8000 万円、うち 1/2 は補助金である。

### ④導入の効果

LIBS ソーター機を用いることで、合金系列毎にアルミニウムスクラップを分別することができた。合金系列毎に分けたことで、アルミニウムスクラップ→分別→(一次)溶解→二次合金→(二次)溶解→製品の製造フローが、アルミニウムスクラップ→LIBS 分別→(二次)溶解→製品と短縮された。また、これまでは展伸材スクラップであっても鋳造材にリサイクルするしかなかったが、展伸材スクラップから展伸材の製品にリサイクルが可能となった。これまで溶融していたスクラップを高精度に分別し、展伸材原料として販売できるため、高い付加価値を付けることができ、競争力を獲得できた。

低炭素化効果については、アルミニウムスクラップ 1t を溶融すると排出される CO<sub>2</sub> 量 0.74 t-CO<sub>2</sub>/t-Al を削減できる。(ただし、重液選別を用いて溶解を 1 回省略した場合の試算)

### ⑤課題

LIBS ソーターの分別精度、速度ともに現在は開発途上であり、LIBS ソーター機の量産、業界への普及にはまだ時間がかかる。

合金系列毎に分別したアルミニウム展伸材スクラップというのは今までにない素材の概念であり、二次アルミ合金の展伸材利用について仕組みづくり (規格化、製品認証) が必要である。規格化ができれば、動脈メーカーでの利用機会を増やすことができる。

## (3)先端技術活用における今後の方向性

### 【今後の再生素材の規格、管理社会における情報通信技術の活用】

昨今のサーキュラーエコノミーの潮流を背景に、再生素材への需要は増加していく。再生素材を動脈産業に戻して活用するためには、再生素材を低コストで大量に製造する技術

革新だけでなく、規格化及び管理（トレーサビリティ）が必要となる。再生素材の特性上、現在のリサイクル技術では製品の品質保証ができないため、工程保証で代替するなどの工夫は必要である。工程保証には情報通信技術の活用が必要であろう。再生素材を製造する設備に情報通信技術を搭載し、いつ、何が、どのように処理・リサイクルされたかという一連の情報を製品と紐づけて公開することで、再生素材を活用する動脈産業の理解も得られるだろう。

#### 【人口減を見据えた今後の廃棄物処理業界発展の方向性】

様々な報告がこれからの日本人口減少を予測しており、業界の人手不足が深刻化することが見込まれる。これまで担当者の経験を頼りに属人的に行ってきた業務が立ち行かなくなるような場合が出てくる可能性もある。働き方改革の必要性が言及されている今こそ、これまでいわゆる”3K”職場であった廃棄物処理工場の在り方を見直す時期に来ている。情報通信技術は人手不足と働き方改革の両方を一挙に解決することができるツールであろう。情報通信技術を活用の一つの到達地点は IoT、AI を全面的に利活用した工場の無人化である。

### 3.2.5 焼却炉・ごみ発電の燃焼最適化

対象者	E 社
日時	2月25日（月）16時

#### (1) 背景

- 大手プラントメーカー。国内外の大型の廃棄物焼却発電施設の納入の実績を持つ。

#### (2) IoT 等先端技術の活用事例

自動クレーンおよびごみパンカの可視化	
対象廃棄物・工程	廃棄物の焼却処分工程。AI によるごみクレーンの自動運転。ごみパンカ内に貯留されたごみの攪拌回数（攪拌度）を座標ごとに可視化
システム構成	AI（遺伝的アルゴリズム）、ごみクレーンの制御システム、ごみクレーンの動作履歴に基づく攪拌度定量化システム
コスト	—
効果	焼却炉の安定稼働、焼却発電効率の向上
課題	導入効果の明確化、全自動化

#### ①システムの概要

従来のごみクレーンの自動運転システムに、ごみピット三次元マップ技術と AI（遺伝的アルゴリズム）を搭載し、エリア設定にとらわれない攪拌回数の均一化と深層までのごみ自動攪拌を行う。ごみクレーンの動作履歴やバケットの開閉履歴を識別カラーと軌跡線で表

示・データベース化しごみクレーンの保安全管理やトラブルシューティング等に活用可能。

#### ②開発に至った背景

自治体の家庭系一般廃棄物焼却施設の広域化計画は遅々として進んでおらず、依然として1000を超える焼却炉が稼働している。一方で、少子高齢化が進み、廃棄物処理施設の運転員が不足する可能性が示唆されている。将来の運転員不足を見据え、少人数でも施設が稼働できる状況を作っていく必要がある。また、焼却炉の運転は経験的知見に頼るところが大きく、今後は作業の数値化・標準化を図り、焼却炉の安定稼働をおこなう必要がある。

#### ③開発の経緯

すでに持っていた従来のごみクレーンの自動運転システムをベースに、自社開発を行った。開発人員は数名で、開発期間は2-3年間である。

#### ④効果

導入前（従来の自動クレーン）と比べて、攪拌エリアが2倍になり、ごみバンカ上層部の攪拌度が均一化し、下層部の攪拌度は向上した。導入後は少ない攪拌回数でより良い攪拌度を得られた。また、集塵機出口 O<sub>2</sub> 濃度の変動が従来の1/3程度まで減少し、燃焼用空気の変動が抑制された。

#### ⑤課題

現在、完全無人化は達成できていない（現在は夜間のみ無人化）。

今後サンプル数を蓄積し、導入効果をさらに明確化する必要がある。

### 3.2.6 IT システム

件名	F 社
日時	2月1日（金）13時

#### (1) 背景

- 廃棄物処理業界特化の IT システムを提供している。
- これまでに廃棄物の発生管理からリサイクル・最終処分まで静脈産業に特化してシステムを提供し続けてきた実績を持つ。

## (2) IoT等先端技術の活用事例

①廃棄物処理業者向け事務基幹システム ②排出事業者向け排出物一括管理システム ③災害廃棄物の管理システム	
対象廃棄物・工程	①営業、マニフェスト管理、出入金管理等の廃棄物処理事務処理システム ②排出物情報の管理、適正排出の支援およびマニフェスト作成支援システム ③災害廃棄物および汚染土壌の個体管理・トレーサビリティシステム
システム構成	①営業・契約支援、配車支援、計量支援、在庫管理、マニフェスト管理、売上管理、請求管理等 ②排出物管理、マニフェスト作成、データセンター、アウトソーシング ③災害廃棄物の個別管理、搬送ルートのリアルタイム監視
コスト	—
効果	①②業務の効率化、コンプライアンスの徹底、ペーパーレス化 ③災害廃棄物の適正処理の推進
課題	廃棄物業界用語の統一化・体系化

### ①システムの概要

#### 1) 廃棄物処理業者向け事務基幹システム

産業廃棄物処理業者を対象とした廃棄物処理事務の基幹システムである。営業・契約支援、配車支援、収集運搬、計量（受入／出荷）、売上／支払、マニフェスト管理等の機能から構成される。営業管理支援機能としては取引履歴管理、見積の受注／失注管理、受注／売上金額の予実管理ができ、契約管理支援機能は、現在の契約状況や過去の取引履歴・見積データを確認、適確に契約更新の案内を行うことが可能である。受付・配車管理支援機能は、回収依頼情報をもとに車輛・ドライバーを割当、事業系一般廃棄物回収のルート配車にも対応している。収集運搬支援機能は、タブレット・スマホ端末を利用するシステム、車輛に常設するクラウド型デジタコへの回収実績情報をすぐに反映・共有するシステムから構成される。計量（受入／出荷）支援機能は、収集・持込受付情報を利用して計量業務を行えるため入力作業を軽減する。重量指示計とパソコンを接続することで計量票の発行と同時に売上登録が可能となる。請求／入金、精算／出金支援機能では請求締処理を完全自動化し、拠点別や伝票を特定した締処理も行える。また請求履歴に対する入金消込機能を実装しており、未入金管理も可能である。

導入後に現場でのコンテナ管理や日報のOCR、計量におけるキャッシャー連動、財務ソ

フト等との連携が可能である。中から大規模廃棄物処理業者を中心に 900 社が導入している。

## 2) 排出事業者向け排出物一括管理システム

排出事業者を対象とした排出物一括管理システムである。委託情報管理、排出実績管理、組織管理、マニフェスト作成支援、食品リサイクル法定期報告等集計支援等機能を持つ。産業廃棄物、一般廃棄物、有価物に対応し、導入実績は製造業、物流業、サービス業を中心に 45,000 現場である。産業廃棄物は 126 の行政区があり、それぞれの行政区で廃棄物処理のルールをデータベース化し提供している。

## 3) 災害廃棄物の管理システム

IoT を活用した災害がれきおよび汚染土壌のトレーサビリティシステムである。バーコードを使った廃棄物個体管理及び GPS による搬送ルートのリアルタイム監視機能がある。収集したデータは JWNET に保存している。自治体やゼネコン（土木）に導入されている。

### ②開発に至った背景

以前は、産業廃棄物、一般廃棄物、専ら物は商習慣が全く異なる違うビジネスだった。例えば、鉄・紙の場合お金を払って仕入れているが、産廃業者は排出事業者からお金をもらって処理をしているなど、モノの流れに対してお金の流れが全く逆である。最近、業界の垣根が低くなり一社が様々な廃棄物を扱うようになったが、モノの流れに対して逆のお金の流れになった場合に事務処理できる IT システムが存在しなかった。

東日本大震災によって大量に震災がれきが発生したが、混乱した状況で災害がれきを管理システムがなく、自治体は災害がれきが適切に処理されているかを確認するすべがなかった。

### ③開発の経緯

産業廃棄物、一般廃棄物、専ら物のすべてに対応した事務処理システムのニーズに着目し、業界特化型基幹システムの開発を行った。

自治体から「災害廃棄物を廃棄物処理業者が本当に処理したのかわからない」という相談を受け、災害廃棄物の個体管理を行い、適正処理を推進するためのシステム開発を行った。

### ④効果（顧客の声）

業務拡大により既存システムでは対応できずエクセル表で二度打ちしていた情報が一元管理され、業務フローが改善した。

伝票の打ち替えを業務ではミス、チェック・修正作業などで担当者に非常に大きな負担となっていたが、システムの一元化により残業とミスはほぼ無くなった。また、遅出早帰の業務体制が確立し、働き方改革を達成。教育により電子マニフェスト業務の属人化も解消した。

既存のマニフェスト管理システムを変えたことで、管理がしやすくなり、使い勝手が向

上、地域特有のマニフェスト運用にも対応した。

#### ⑤課題

廃棄物処理で使われる用語が体系化されておらず、情報の集約と整理の大きな壁となっている。例えば、これまで自社で収集したデータに廃棄物処理方法として登録されている数は200,000件に達しているが、実際には同じ処理が様々な名称（日本語で登録されているものと英語で登録されているものなど）で登録されている。今後業界の電子化を進める上で情報の体系化は絶対に必要である。

### (3)先端技術活用における今後の方向性

#### 【全体の効率化を図るプラットフォーム化の構想】

廃棄物処理業界は非常に複雑で細分化された業界であり、単純なプラットフォームは機能しないだろう。また、ウーバーのように一つの単純なマッチングを行うだけで業界がガラリと変わるようなことはないだろう。プラットフォームの構築には業界ノウハウへの理解が必要である。プラットフォームの機能としては、処理業者の廃棄物処理方法をDB化し、排出事業者が廃棄物を排出する際に最適な処理方法を持つ処理業者とのマッチングを行うことなどが考えられる。副次的効果として、個社が廃棄物処理・リサイクル技術の独自開発を通じて特色ある会社づくりが可能となり、業界の底上げも達成される。プラットフォームの構築のステップは、複雑で多様な業界の情報を集約することからはじまり、誰でもアクセス可能なシステムの作成、システム利用者の獲得、利用者同士のマッチングの開始、と続くであろう。

#### 【廃棄物業界における生産管理のあり方】

廃棄物業界では、動脈産業で行っているような緻密な生産管理がなされていない。最近では廃棄物処理業界でも生産性の向上の重要性が認識されており、廃棄物処理・生産管理（生産の見える化）への意識が高まっている。業界の生産の見える化を行うことができれば、設備の効率的な稼働やシェアリングができるはずである。例えば、高価なギロチン（鉄スクラップ処理設備）を複数の業者が共同で活用することで稼働率を向上させる、夏に忙しい工場と夏に暇な工場をマッチングすることで工場稼働の平準化を図る、など様々な生産性向上・廃棄物処理の効率化が可能であろう。

### 3.3 先行技術活用事例にみられる傾向

ヒアリングを実施した事例、ならびに4章で実施した事業者ヒアリングから得られた廃棄物処理分野における先端情報通信技術活用の先行事例をまとめた（図3-1）。

- 先端情報通信技術活用の目的は、「省力化、コスト削減」「廃棄物処理・リサイクルの付加価値向上」にわかれる。前者は省エネや資源消費量削減を通じて、後者はリサイクル



率の向上を通じて低炭素化に貢献すると考えられる。

- 廃棄物処理分野でも既に人工知能 (AI) やロボットを活用しようとする取組が広がりつつある。特に光学選別機の普及拡大、新たなセンサー選別の高度化、廃棄物分離へのロボット技術の活用などの傾向がみられる。
- ロボット技術、センサー選別は実証、導入が始まっており多大な効果を実現しているものの、まだ技術的に未成熟な面がある。また、ロボットをどの種類の廃棄物に用いるか、ロボット選別機を組み込んだ処理工程をどのように組み上げるかなど、技術や活用方法の完成度向上に資する取り組みが必要とされている。
- リサイクルシステム全体では、サプライチェーン円滑化の必要性から、組成情報や廃棄物の処理量などの情報の工程間の連携への先端技術活用が検討されている。先端的な事業者やITベンダーなどに、廃棄物処理業界版のプラットフォーム構築を構想する動きがみられる。

先行技術活用類型		先行事例ヒアリング／事業者ヒアリングにおける各社の取組
分類	項目	
業務効率化、高度化	高度情報化選別機器・ロボットを用いた物理選別の高度化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 全自動選別ロボット</li> <li>● LIBSソーター、光学選別機</li> <li>● 自動解体ロボット</li> </ul>
	産業廃棄物処理工程の可視化による低炭素化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 燃焼データの可視化、無人化、自動クレーン</li> <li>● 自動搬送ロボット、自動倉庫</li> <li>● 工場の環境モニタリング</li> </ul> (可視化や予兆保全、自動倉庫等は、製造業等での事例あり)
	遠隔地物流のモーダルシフト、積み替え輸送	ニーズはあるが現時点の事例はなし (動脈物流での事例あり)
	産廃・事業系一廃の共同収集	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 産廃・事業系一廃の共同収集</li> <li>● 業界団体による共同回収</li> </ul> (動脈物流での事例あり)
	最終処分場の省力化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● ドローンによる測量</li> </ul>
	事務処理のIT化	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄物関連事務支援 (含む電子マニフェスト) システム／サービス</li> <li>● 社内外コミュニケーションツール</li> </ul>
リサイクルシステムの高度化	アセット管理、リファービッシュの促進	<ul style="list-style-type: none"> <li>● アセット管理による個別リユース、リファービッシュ</li> </ul>
	上流下流工程間での廃棄物流通量、品質、種類データ連携	(顧客の仕様ごとに製造工程を変更)
	廃棄物排出種別・量データに応じた最適な処理方法の選択	ニーズはあるが現時点の事例はなし
エネルギー回収	エネルギー、熱回収	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 廃棄物発電 (大型焼却炉中心)</li> <li>● 熱回収、近隣工場での活用</li> </ul>

図 3-1: 先端技術活用の先行事例 (事業者ヒアリングからの結果も含む)

### 3.4 自動選別ロボット、センサー選別機器の技術動向

廃棄物処理・リサイクルの高度化に直接的にかかわる動向として、センサーを用いた高度選別機や自動選別ロボットによる物理選別の高度化と省力化をあげることができる。本節では、産業廃棄物処理において勃興しつつある主要技術の一つであるこれらの高度選別や自動選別ロボットについて追加調査を行った。

建設系混合廃棄物や混合プラスチックにおける選別工程は人手が介在することから、事業者の自動化、機械化のニーズが強い工程である。また、光学選別機による選別を行うことで混合プラスチック中の塩素分を低減するなど、廃棄物の品質を制御する役割も担っている。

このようなセンサー選別機器や自動選別ロボットは、物体の形状や物性を把握する「センサーユニット」と物理的に物質を分離する「分離ユニット」から構成される。分離ユニットにおいてエアージェットやマグネットを用いて分離するのがセンサー選別機、ロボットアームを用いて分離するのが選別ロボットである。

センサーユニットでは、カメラ（可視光）、3Dカメラ、スペクトルカメラ、X線センサー、蛍光X線センサー、LIBS（レーザー）等のさまざまなセンシング技術を用いて物体の形状や色、物性を識別することができる。例えばプラスチックの素材を識別する時には近赤外線など、処理する廃棄物の性質によってセンサーが選択される（表 3-2）。取得したデータは人工知能（AI）で処理され選別を行うとともに、人工知能の学習用データとしても活用され、識別精度の向上に用いられている。

表 3-2: 主要な光学選別技術

光学選別技術	特徴
可視光ソーター	可視光領域での反射（材料の色）に基づいて材料を識別、選別する。ガラス瓶の色選別に活用。透明素材以外に対応。
近赤外ソーター	材料に近赤外光を照射し、反射スペクトルから、材質を識別・選別する。特にプラスチックの選別に有効。
UVソーター	材料に紫外線を照射し、反射・吸収スペクトルから素材を識別する。
X線透過ソーター	X線を照射し、透過率から材料の原子密度を算出し、識別・選別する。X線が透過する材料・大きさに用途が限られる。
電磁ソーター	材料の伝導性と透磁性から識別する。特に金属の識別に有効。
視覚的スペクトロメトリ	透明・不透明の物体すべての可視領域でのスペクトルを測定し、材料を識別・選別する。
X線蛍光ソーター	X線を照射し、材料から放出される蛍光スペクトルに基づいて、材料の識別。携帯型の装置も販売されている。

センサーユニットを用いた識別は、分離ユニットと組み合わせて選別で使用されるだけではない。センサーユニット単体でも、生産ライン上を流れる廃棄物の組成や量を把握するために使用することができる。ストリーム上流部にある機器の動作動向や投入材料の組成（容器ライン中の古紙量など）を把握するツールとして用いることができる。

分離ユニットへのロボットアームの採用は、近年のロボット技術の進展に伴うものである。選別ロボットの形態は対象となる廃棄物によって異なっており、建設系混合廃棄物ではクレーン型のアームと廃棄物をはさんで把持するグリッパーが用いられることが多いのに対し、プラスチックなどの軽量物を対象とするロボットでは、パラレルリンク型アームと吸着機構を採用されることが多いようである。

ただし、日本で最初に自動選別ロボットを導入した企業のヒアリングによると、現時点でもロボット導入のメリットは大きいものの、技術的には発展途上で今後の成熟を待つ段階である。また、選別ロボットを廃棄物処理のどの工程で活用すべきか、活用方法の試行錯誤が必要とされている。

なお、センサー選別機器や自動選別ロボットが対象とするのは破碎された廃棄物の識別と分離の段階であるが、前段階として、破碎方法にも研究開発の余地があるとのコメントがあった（6.2.3節参照）。

自動選別ロボットは、先行事例のゼンロボティクスに加え、海外のいくつかの企業が開発を進めており（表3-3）、さらに、国内でも開発が始まっている（表3-4）。

表 3-3: 海外企業による自動選別ロボットの開発例

企業名	ロボットの概要
ZenRobotics	<p>ゼンロボティクスリサイクラー</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● コンピュータービジョンと人工知能 (AI) を組み合わせてロボットアームと同期させ、動くベルトコンベアから資源を選別。</li> <li>● AI は金属センサや 3D レーザースキャナー、分光カメラなどからリアルタイムで情報を取得し、ベルトから正しい資源を選択・選別することを学習。</li> </ul>
AMP Robotics	<p>AMP コーテクス (AMP Cortex) ロボット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● リサイクル選別ライン中の食品・飲料品の紙容器を識別し、アームで掴み取って選別。</li> <li>● 一分あたり 60 個 (またはそれ以上) の紙容器を拾い上げられる。</li> </ul>
BHS (Bulk Handling Systems) /Sadako Technologies	<p>Max-AI 自動品質管理ユニット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● AI や画像処理システム、確率判断を使ってごみを選別する。ニューラルネットワークを基盤とする人工知能を利用してリサイクルできる資源を特定し、ロボット選別機や光学選別機などのリサイクル機器に選別判断を指示する。</li> <li>● 物体認識、黒色プラスチックの識別、素材組成分析も可能となった。光学センサーと AI 技術は相互に補完し合い、蓋つきフードパックや熱成形トレイを除いたペットボトルのみを選別することができる。</li> <li>● AI や光学選別機器、計量器、モーター、バンカー、ベラーなどから素材組成データやパフォーマンス指数を取得し、システム利用者がプラットフォーム上で情報を見ることが出来る。</li> </ul>
Machinex	<p>Samur AI</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 画像からベルトコンベヤー場の廃棄物の物性を把握。パラレルリンク型アーム、吸着型ハンドのロボットで選別する。</li> </ul>
Waste Robotics	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 有機廃棄物コンポスト化の前処理、建設系混合廃棄物の選別、ソーティングセンターでのソーティングに活用</li> </ul>
Bollegraaf	<p>パラレルリンク型アームと吸着型のハンドを持つ自動選別ロボット</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 様々な形の PET、HDPE、LDPE、PS、PP 等を選別</li> </ul>
Optisort	<p>Optical Battery Sorter 500</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● 電池の選別ロボット</li> </ul> <p>Refind SORTer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● スマートフォンなどの小型家電の型式を DB と一致させ、選別</li> </ul>

表 3-3: 海外企業による自動選別ロボットの開発例（続き）

(参考) TOMRA Sorting Recycling	X線や蛍光X線を用いた高度選別機器 <ul style="list-style-type: none"> <li>● ロボットアームではなく、エアージェットなどによる選別</li> <li>● 投入材料はセンサーエリアを通過、読み取られた情報は電子的に処理され、設定選別基準にしたがって、検出済み材料が高精度の圧縮空気の噴射により、自動的に分離室へと押し出される。</li> </ul>
(参考) Pellenc ST	光学式選別機 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 家庭ゴミ及び産業廃棄物を選別する。廃棄物の選別には、近赤外線分光測定 (NIR)、中赤外線分光測定(middle infrared)、可視光線分光測定、金属誘導等を利用。</li> </ul>

表 3-4: 国内企業による自動選別ロボットの開発例<sup>1</sup>

企業名	ロボットの概要
リョーシン	AI 選別ロボット。重量物を扱うグリッパーと軽量物を扱うグリッパー。前者は建設系廃棄物から出るガレキなどの重量物を選別。後者は2基の吸引式グリッパーで軽量物をピックアップ。
御池鐵工所	安川エンジニアリングと共同で AI を活用したロボット選別システムを開発。
ウエノテックス	AI 搭載 廃棄物自動選別ロボット。センサー群、垂直多関節ロボットとパラレルリンクロボットの3ユニットで構成。センサー群から得られた情報をもとに AI で材質や形状を判断。ロボットには、独自開発したハンド及びパッドを搭載。多種多様なものを選別可能。
近畿工業	ミックスメタルから銅と真ちゅうをピックアップ。
大原鉄工所	"AI 搭載型選別ロボット MAX-AI"の販売。

<sup>1</sup> 各社 HP 等から作成

## 4. 先端的な情報通信技術に対する事業者の取組とニーズ

4章では、産業廃棄物処理事業者を中心とする12事業者に、産業廃棄物処理における先端情報通信技術活用の取組の現状とニーズについてヒアリングを行った結果を示した。

まず4.1節でヒアリングの実施概要について示し、4.2節で結果の概略をとりまとめた。4.3節では、個別事業者へのヒアリング結果個票を示した。

### 4.1 ヒアリングの実施概要

産業廃棄物処理における先端情報通信技術活用のニーズと現時点での取り組み状況を把握するため、幅広い事業者を対象にヒアリングを実施した。また、技術の利用可能性について把握するため、産業廃棄物処理業界に知見があるITベンダー等にもヒアリングを行った。

ヒアリング先となる産業廃棄物処理事業者は、処理工程や企業規模、事業形態ができるだけ幅広くなるよう留意して選択した。具体的なヒアリング先を表4-1に示した。また、ヒアリング事業者の業務がカバーする産業廃棄物の工程を図4-1に示した。

ヒアリングでは、まず先端情報通信技術に関する各事業者の具体的な取組の状況と個別ニーズを聴取するとともに、低炭素化に寄与すると考えられる領域ごとに関心の強さを調査した。最後に、先端情報通信技術活用や業界の方向性について聴取した(表4-2)。

表 4-1: 事業者ヒアリングのヒアリング先

企業	業態	特色
A社	収集運搬、中間処理	汚泥の収集運搬、処理が主体
B社	収集運搬、中間処理、最終処分	がれき、廃液等の処理が主体
C社	収集運搬、中間処理	廃プラスチック他各種産業廃棄物の処理
D社	中間処理	鉄スクラップの処理が主体
E社	収集運搬、中間処理	各種産業廃棄物の処理。低濃度PCBも取り扱う。
F社	中間処理	プラスチック、木くずからの燃料製造
G社	収集運搬、中間処理、最終処分	大手総合産業廃棄物処理グループ
H社	排出事業者、リサイクラー	事務機器メーカー。早くから複写機のリファーマビッシュやリサイクルに取り組む。
I社	セメント製造	セメント原料として廃プラスチック等の廃棄物を活用
J社	ITベンダー	廃棄物処理業界向けITベンダー
K社	IoTセンサーベンダー	IoTセンサー、ソリューションの開発

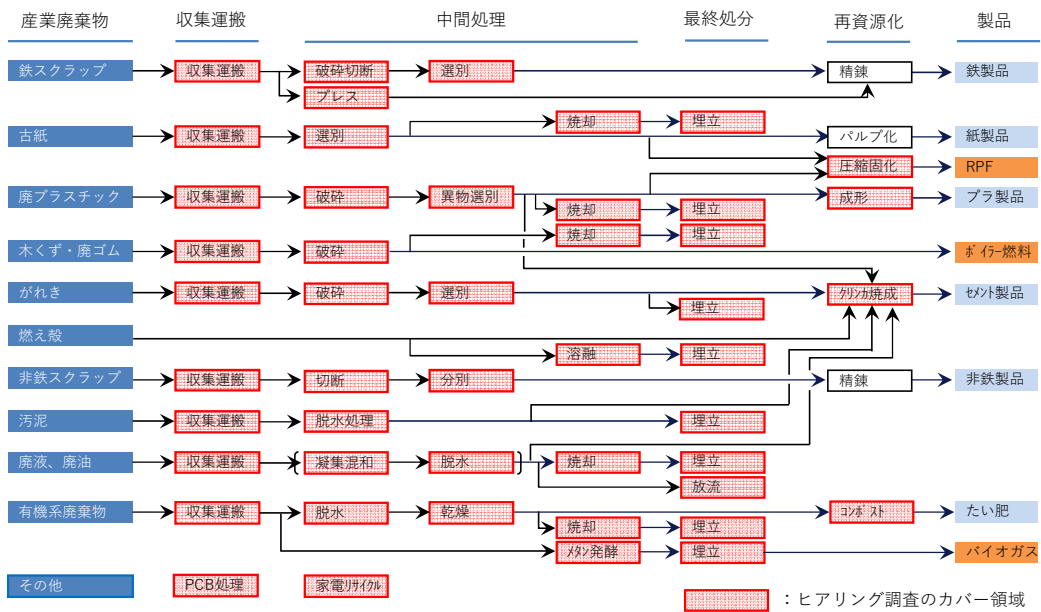


図 4-1: ヒアリング対象のカバレッジ

表 4-2: 事業者向けヒアリング項目

分類	ヒアリング項目
IoT 等先端技術の活用・検討状況	各社が具体的に取り組む先端技術活用の内容 <ul style="list-style-type: none"> <li>● 「①活用中」: 既に導入、実証している用途</li> <li>● 「②検討中」: 社内での導入検討をした経験がある用途</li> <li>● 「③活用希望 (ニーズ)」: 今後活用を検討したい用途</li> </ul> 各用途について、活用内容・活用の経緯・導入効果・課題・導入の条件・補助金の活用有無等をヒアリング。
先端技術の活用領域ごとのニーズ	活用領域ごとにニーズを聞き、事業者間の違いを比較： <ol style="list-style-type: none"> <li>①業務効率化・高度化用途 <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 廃棄物リサイクルの高度化</li> <li>2) 設備の保全・監視</li> <li>3) 収集運搬の効率化</li> <li>4) IT化・電子化</li> </ol> </li> <li>②リサイクルシステムの高度化</li> <li>③エネルギー回収</li> </ol>
先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見	先端情報通信技術活用や活用条件、活用基盤に関するご意見について聴取した

## 4.2 ヒアリングから得られた事業者の取組とニーズの傾向

ヒアリングから得られた事業者の取組とニーズ、先端技術活用に関する意見について、とりまとめた。

### (1) IoT 等先端技術の活用・検討状況

- 産業廃棄物処理事業者は、近年独自に先端技術導入の検討を始めている。
- 直接的な検討動機や検討テーマは、従業員不足対応（省力化、環境改善）や業務の近代化などである。
- 関心の高い活用領域は、AI を用いた配車やロボットの活用など高度な内容であるが、現時点で実際に活用が進んでいるのは廃棄物処理向け IT システムの導入やコミュニケーションツールの活用など、IT 関連が主である（表 4-3）。

表 4-3: 現状の産業廃棄物処理事業者の先端技術活用状況

既に活用中	検討中	今後のニーズ
<ul style="list-style-type: none"> <li>● コミュニケーションツール</li> <li>● 管理システム</li> <li>● その他 IT（電子マネー、電子契約）</li> <li>● 車両管理</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 予兆保全</li> <li>● IT（電子マネー、電子契約）、書類電子化</li> <li>● 車両管理</li> <li>● 選別ロボット、高度選別機器</li> <li>● 生産ラインの可視化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● AI 配車</li> <li>● 現場立ち合いの代行</li> <li>● ロボット活用</li> <li>● 異物発見</li> <li>● 廃棄物プラットフォームの構築</li> </ul>

### (2) 先端技術の活用領域ごとのニーズ

- 先端技術活用への事業者の関心が高い領域は、廃棄物リサイクルの高度化におけるロボットの活用、設備の保全・監視、収集運搬の効率化、IT 化・電子化等であった（表 4-4）。
- 一方で、リサイクルシステムの高度化やエネルギー回収への先端情報通信技術の活用に関しては、現業の立場からの関心は現時点ではそれほど高くなかったが、リサイクルやエネルギー回収の底上げに関する課題意識はみられた。



表 4-4: 分野別の活用ニーズ整理

分野		活用ニーズ
①業務効率化・高度化	1) 廃棄物リサイクルの高度化	● ロボット活用への期待が強い。
	2) 設備の保全・監視	● 生産ラインの可視化や予兆保全への関心が強い。
	3) 収集運搬の効率化	● IoT を用いた車両管理は既に多くの事業者で採用されている。今後は AI による配車への期待が強い。
	4) IT 化・電子化	● 電子マニフェストの普及、契約や書類の電子化への関心が強い。
②リサイクルシステムの高度化		<ul style="list-style-type: none"> <li>● リサイクルの品質向上や設備投資のために、前工程が後工程を考えた処理をおこなうなどの工程間のコミュニケーションや情報連携、動脈企業と静脈企業の連携を促進する必要性が指摘された。</li> <li>● 一方で、現状の処理では事業者間の情報連携はそれほど必要性を感じられてはいない。</li> </ul>
③エネルギー回収		● エネルギー回収自体には関心が強いが、短期的な先端情報通信技術活用への関心はそれほど高くない。

### (3) 先端情報通信技術活用や業界の方向性へのご意見

- IoT の利点を活用して信頼性と利便性を高める規制のあり方検討への期待の声が聞かれた。

## 4.3 ヒアリング個別結果

### 4.3.1 廃棄物処理事業者 A

事業分類	収集運搬、中間処理
処理対象	汚泥の収集運搬、中間処理が主体

#### (1) 背景・企業概要

- 汚泥の収集運搬、処理を主とした産業廃棄物処理業。汚泥処理施設は 2 拠点。
- 最近 IT 戦略室を設置し、社長が責任者を兼任、IT 部門として初めて新入社員が入社。先端情報通信技術に関心があり、積極的な検討や導入を行っている。

## (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

### ①活用中

メッセージアプリを活用した社内コミュニケーション	
活用内容	メッセージアプリを活用して、営業担当・工場間社内コミュニケーションを円滑化し、営業担当の不必要な移動の削減、ガソリン使用量の削減を行う。
活用経緯	これまで社内でのコミュニケーションは電話やメールを中心に行っていたが、社内コミュニケーションの電話やメールに業務時間の多くが割かれており、問題視されていた。
導入効果	営業とのコミュニケーションに掛かっていた時間が短縮し、業務の生産性が向上した。これまで営業が現場と会社を往復していたが、現場で写真を撮影し、社内担当者と共有するだけで業務が済むようになった。
導入の困難点	情報の安全性。個人同士のコミュニケーションには活用できるが、企業同士となるとメッセージアプリでは難しい。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	認知度が高く、使用に抵抗がないこと。利便性が高いこと。

電子契約システム	
活用内容	電子契約システムを導入することで、契約にかかっていた手間を削減し、顧客の利便性を向上、自社の業務の効率化を行う。
活用経緯	営業担当が契約のために客先と自社を何往復もすることがあり、コスト削減や業務効率化の必要があった。
導入効果	客先との往復が減り業務が効率化できた。顧客満足度も向上した。
導入の困難点	顧客への周知、説明。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	顧客が広く活用できること。導入コストが十分に小さく、扱いやすいこと。

### ②検討中

IoT を活用した現存設備の予兆保全	
活用内容	既存の汚泥処理設備に IoT（センサー）を取り付けて、これまでできていなかった予兆保全を行う。
検討経緯	自社の汚泥処理設備は 2 か所あり、設備は壊れやすい上にどこが壊れるか分からず、設備故障で生産計画が滞ることが多いため、予兆保全の検討を始めた。

導入効果	設備の安定稼働と処理量の増加。
導入の困難点	取得した数値解析の困難さ。数千万円に上る初期投資。
補助金等の活用	検討中。
導入の条件	予兆保全を行うための、AI による IoT で取得したデータの解析技術の確立。実際の導入には補助金の活用は不可欠。

<b>AI による自動配車</b>	
活用内容	産業廃棄物の収集運搬車両の配車計画を、AI を活用して自動的に行う。
検討経緯	収集運搬車両の配車をできる人間は社内でも限られており、経験を積んでノウハウを学ばないとできない業務であった。また、配車担当者への業務の集中が問題となっていた。
導入効果	収集運搬ルート最適化、業務の標準化。
導入の困難点	顧客への周知、説明。
期待効果	労働環境の改善、配車の効率化、合理化。
導入の条件	AI システムが実用レベルに達すること。

### ③活用希望（ニーズ）

<b>センサーを活用した顧客の排出量のモニタリング</b>	
活用内容	客先のヤードにセンサーを設置しヤードの汚泥量を監視、一定量溜まったら自動的に回収依頼が通知される。
活用の課題	センサー技術の確立。顧客との情報連携協定の締結。
期待効果	事前に回収依頼が来るタイミングが予測できるため、過度な回収依頼の集中がなくなり、定常的で安定な処理設備の稼働が達成できる。定常的に排出され続ける場合、期間限定で排出される場合のどちらであっても対応可能。効率的な配車計画を立てられれば車の台数の削減も可能。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

汚泥処理設備は現在もほとんど人手がかかっておらず、不要。

##### 2) 設備の保全・監視

現在導入を検討中。

### 3) 収集運搬の効率化

排出事業者の廃棄物在庫量に基づいた収集依頼と AI を使った配車の技術確立が必要。

### 4) IT化・電子化

電子マニフェストは排出一収集運搬一処理のすべての事業者が導入している必要があり、多くは排出事業者に依存。

### ②リサイクルシステムの高度化

汚泥をセメント原料として再資源化する場合、受け入れ先のセメント製造業者の受け入れ基準は会社毎に違っているため、汚泥を受け入れた段階で受け入れ先企業のキャパを考えたくて製造している。現在は入ってくる量はヤードで調整し、排出量は排出先を複数持つことで平準化を行っている。

### ③エネルギー回収

汚泥の乾燥にエネルギーは使用していない。

## (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

### 【将来の静脈物流】

静脈物流の効率化を見据えると、動脈物流で行われているハブ倉庫（いったん荷物を集約させる拠点）を静脈物流でも取り入れるべきである。ハブ倉庫の実施は現在の法律では難しく、実際に行うには法律の改正が最も高いハードルとなる。

現在静脈物流で深刻化している人手不足の一因は個社への廃棄物収集運搬業務の集中にあると考えている。個社は企業活動して廃棄物を収集しなくてはいけないが、それが過剰に進むと業務が集中しすぎて車両台数やドライバーが不足してしまう。車両台数やドライバーの不足を補う考えとして、例えばウーバーのように、個人の余暇時間を利用し、個人が廃棄物の運搬が可能となれば、車両不足・人手不足は解決される可能性が高い。IoT を活用して廃棄物のトレーサビリティを確立すれば、個人が収集運搬をしても適正処理が担保できるはずである。

### 4.3.2 廃棄物処理事業者 B

事業分類	収集運搬、中間処理、最終処分
処理対象	がれき、廃液等

### (1) 背景・企業概要

- 東海地方において産業廃棄物・特別管理産業廃棄物の収集運搬・中間処理と最終処分を行っている。

- 処理を主要業務として行っており、リサイクルは少ない。

## (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

### ②検討中

臭気センサー及び消臭剤噴霧器の開発	
活用内容	排水・汚泥の処理設備に臭気センサー及び消臭剤自動噴霧器を設置し、悪臭の種類と強さを常にモニタリングし、悪臭の種類に応じて消臭剤の種類を変えて自動で噴霧する。
検討経緯	排水・汚泥処理設備は住宅街に近接しており、環境アセスメントを適切に行っているが、周囲への影響可能性をさらに低減したいと考えている。
導入効果	労働環境の改善、周囲への環境影響の低減。
導入の困難点	匂いの種類は様々あり、どの匂い分子に注目するか等、センサーの開発が難しい。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	性能を満たすセンサーが完成すること。

### ③活用希望（ニーズ）

IoT・ブロックチェーン技術を活用した信頼度の高い収集運搬・積み替え保管の構築	
活用内容	自社から遠方までの廃棄物の運搬は頻繁にあるが、帰りは空荷である。排出先が限定される廃棄物等の運搬も廃棄物の量が集まらないことが多い。これらの収集運搬の非効率問題を解決するために、共同リレー運搬の仕組みと大規模積み替え保管施設が必要である。共同リレー運搬を行うことで長距離の運搬が減り空荷での走行が減る。また共同リレーを行うためには大規模な積み替え保管施設を作り、種類、行き先ごと廃棄物の量を集めることで更なる効率化が可能となる。これらを実現するには適切な廃棄物処理が担保されることが大前提であり、IoT とブロックチェーン技術を活用しての廃棄物トレーサビリティシステムや廃棄物と収集運搬業者のマッチングシステムが必要である。
活用の課題	法改正が必要。
期待効果	収集運搬の大幅な効率化。

## (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

### ①業務効率化・高度化用途

#### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

選別の自動化ができれば、工場の自動化・24時間稼働への一里塚となるため今後検討し

ていきたい。

## 2) 設備の保全・監視

最終処分場は今でも人がほとんどいない。IoT を使うことで最終処分場の無人化・24 時間稼働が可能となるかもしれない。具体的には最終処分場での入場管理システム、ドローンでの測量、測量情報と搬入車両・廃棄物情報を組み合わせた廃棄物を埋めた場所の可視化等にはニーズがある。

## 3) 収集運搬の効率化

人手不足を背景に輸送をまとめるニーズはある。ブロックチェーンを活用した積み替え保管（共同物流）や廃棄物の倉庫業ができれば、特に処理が難しく施設に限られる廃棄物や小口の廃棄物の場合は運搬の効率が大幅に上がるだろう。また、長距離の廃棄物輸送を分割できれば、合積みができ空荷も減るので効率が上がる。輸送容器をコンテナにするなど規格化を行い、積み替え場所の確保、IoT を活用したトレーサビリティ、マニフェスト管理（処理期日までに処理が終わらせる等）ができれば理論上実現可能であり、FS 調査を行うべきである。

## 4) IT 化・電子化

電子マニフェストは是非普及が必要である。現状では、大口顧客はほとんど電子マニフェストを導入しているが、小口の顧客は導入コストの問題で導入が進んでいない。

### ②リサイクルシステムの高度化

選別高度化・再生資源の品質向上をおこなうためには、後工程の再生素材産業がどのような品質のものを必要としているかに関する情報が必要。情報連携は、自動選別等の設備投資にも関連するため重要。

### ③エネルギー回収

エネルギー回収設備の導入ニーズはある。導入の課題は、焼却炉設置場所の確保と、設備機器が急速に進歩する状況下で許認可と実導入に時間的ずれが生じる点である。産業廃棄物は種類が多岐にわたるため、エネルギー回収（発電）を安定化させるために AI を用いた廃棄物の在庫管理（カロリー管理、均質化）が有効と考えられる。

## (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

### 【廃棄物処理の周辺環境整備】

電子契約、電子マニフェストが簡略化されもっと使いやすくなることで、業界の近代化、ペーパーレス化、効率化が図れるのは間違いない。また、許可証のデータ、優良認定のデータ等が広く連携・共有できれば、排出業者も業者選定の労力を減らすことができ、優良認定

をしようと努力をする企業が増えるため、両者に利益がある。IoT等の先端技術は業界にどんどん取り入れていくべきであり、技術の使いどころは廃棄物の適正処理の推進である。IoTによって適正処理が担保されれば、規制緩和に向けて話をすることもできるため、IoTの導入の波及効果は大きい。

#### 4.3.3 廃棄物処理事業者 C

事業分類	収集運搬、中間処理
処理対象	廃プラスチック他各種産業廃棄物

##### (1) 背景・企業概要

- 東京都、千葉県、神奈川県を中心とした産業廃棄物・一般廃棄物の収集運搬、産業廃棄物の中間処理、再資源化を行う。
- 関係会社の事業として、太陽光パネルリサイクル事業、メタンガス発酵事業、家電製品・電子機器のリサイクル事業がある。

##### (2) IoT等先端技術の活用・検討状況

###### ①活用中

民間収集の家庭系一般廃棄物の共同収集	
活用内容	民間収集の家庭系一般廃棄物収集運搬について連携体制を構築し、複数社で共同収集することで、収集運搬の効率化を図る。回収中はタブレット端末（GPS）を活用してリアルタイムでお互いに情報共有を行う。
検討・活用経緯	入札（競争）によって収集運搬料金が低下していた。また、個社がバラバラに回収することでルートの重複が生じていた。
導入効果	組合を作り 20 社で連携することで収集運搬の効率化が達成できた。連携によって過度な価格競争を回避し、利益率が向上した。
導入の困難点	連携体制の構築。自社の利益を追求しないリーダーが必要。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	東京、千葉、神奈川の場合は最低 10 社以上が連携すること。

###### ③活用希望（ニーズ）

食品廃棄物処理の立ち合い業務支援	
活用内容	平成 28 年にあった食品廃棄物の不適正な転売事案以来、排出事業者の排出者責任が再認識され、食品廃棄物の焼却処分に排出事業が立ち合うことが増えた。IoT や IT を活用して排出事業が自社のオフィス

	にいても、排出物が適切に処理されていることを確認可能なサービスの提供を行う。
活用の課題	—
期待効果	—

排出事業者の排出量モニタリング	
活用内容	顧客に貸与しているコンテナにセンサーを設置し、廃棄物量をモニタリング。廃棄物コンテナが満杯になる前に回収依頼を通報し、効率的な配車計画を行う。帰り便の有効活用ができる可能性がある。
活用の課題	—
期待効果	帰り便の有効活用ができる可能性がある。 配車効率が向上する。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

特になし。

##### 2) 設備の保全・監視

特になし。

##### 3) 収集運搬の効率化

家庭系一般廃棄物の共同収集を行っている。家庭系一般廃棄物は排出場所が非常に多く、顧客（市民）のチェックが厳しい。事業系の方がハードルは低いはずであり、事業系一般廃棄物でも同様の共同収集は可能であろう。家庭系一般廃棄物の共同収集の実績を踏まえると、十分な効果を得るには最低 10 社、可能ならば 20 社が連携する必要がある。

##### 4) IT化・電子化

特になし。

#### ②リサイクルシステムの高度化

関係会社では太陽光パネルのリユース・リサイクルを行っている。割合としてはリユースの方が多。一部リサイクルで難しい技術があることを除けば、技術的に太陽光パネルのリサイクルは可能である。

#### ③エネルギー回収

該当なし。



#### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

##### 【動脈産業との協働による廃棄物処理】

将来、廃棄物処理業は、動脈産業のメーカーと協働していくべきである。例えば、自社の場合、家電メーカーと協働で家電リサイクル事業を行っている。家電の場合は、搬入された家電を分解し、廃棄物を種類ごとに分別し、メーカーに素材を戻している。動脈産業のメーカーが廃棄物処理に関わることで、リサイクルしやすい素材やデザインの開発を行うことができる。廃棄物処理業は、廃棄された製品をメーカーに戻すための手伝いに徹するという感覚が大切であり、これこそが未来の廃棄物処理業のあり方だろう。

#### 4.3.4 廃棄物処理事業者 D

事業分類	中間処理
処理対象	鉄スクラップ

#### (1) 背景・企業概要

- 金属を中心としたリサイクル・廃棄物処理グループの中核を担う鉄鋼原料の集荷加工処理および販売業。
- 2001年に家電リサイクル、2005年に自動車リサイクル事業を開始。
- 主な取り扱い品目は車、家電、一般廃棄物、鉄スクラップ等。

#### (2) IoT等先端技術の活用・検討状況

##### ②検討中

AI-OCRによる手書きマニフェストの電子化	
活用内容	手書きのマニフェストをAI-OCRを活用して自社で電子化する。
検討経緯	電子マニフェストを導入しているが、顧客が導入していない等の理由で手書きのマニフェストを扱うことがあり、業務が非常に煩雑であった。
導入効果	AI-OCRによる読み取り精度の高さ、廃棄物処理事務の業務フローの簡略化。
導入の困難点	AI-OCRによる読み取り精度が低く、実導入に至らなかった。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	AI-OCR技術が進歩し、読み取り精度が向上する必要がある。

カメラでナンバープレートを撮影し、車両番号の自動読み取り	
活用内容	搬入車両の入場管理を自動化し、車両番号をカメラで読み取り、台貫

	データと自動的に紐づける。
検討経緯	現在は2か所の台貫で入場管理を行っており、入場車両が台貫に乗ると重量が表示され、それを担当者が車番等と合わせて入場管理している。入場車両が多いまたは担当者不在の場合は入場が滞ることがある。
導入効果	入場作業の高速化、省人化。
導入の困難点	泥はねなどのナンバープレートの汚れによって読み取り不能やご認識が多く、実導入に至らなかった。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	ETCなど他の技術と組み合わせて、車体番号読み取り精度を向上させること。

### ③活用希望（ニーズ）

大型家電の積み下ろしサポートロボット	
活用内容	作業員への負担が大きい大型家電の積み下ろしで、作業員の身体にサポートロボットを装着し、作業の負荷を低減、腰痛など労働災害を防止する。
活用の課題	荷物の積み下ろしなど複雑な運動に対応したサポートロボットの開発。
期待効果	労働生産性の向上、労働環境の改善、労災防止。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

ミックスメタルには鉄・アルミ・銅・金など多種多様な金属が含まれていてさらなる金属回収の余地はあるが、金属の粒子が小さくAI搭載型ロボットでの選別は難しい。今のロボット選別技術は建設系廃棄物等比較的大きなものに限られる。今はミックスメタルを高度比重選別し金属回収を行っている。

##### 2) 設備の保全・監視

設備はほとんど故障しないため予兆保全の必要性はあまりない。主破碎機についてのみに常に消費電力、負荷等のモニタリングを行っている。運搬トラックにはGPS端末が搭載されていて、処分場までを常に追跡している。

工場内の防犯・防事故対策には、カメラおよびセコム社フレームチェッカー（火災検知システム）を導入済み。

##### 3) 収集運搬の効率化

有価物と産業廃棄物の両方を扱っているが、産業廃棄物は法律が厳しく効率化は難しい。車を空荷で走らせないように人が配車計画を作っている。現在は一社毎の配車で、合積みは行っていない。

#### 4) IT化・電子化

自社独自のマニフェストシステムを導入。電子契約システムも導入しているが、1件で数万円の導入コストがかかるため、小口の場合は利益が圧迫されるため普及が課題。

#### ②リサイクルシステムの高度化

後工程との品質情報のやりとりはない。自社の鉄製品の品質はどこに出す場合でも同じ工程を経て同じ基準であるが、別工場は設備や基準が異なっている。自社は幅広い廃棄物を受け入れており、廃棄物の品質を選ぶことはできないため、品質管理を行うことは難しい。

#### ③エネルギー回収

特になし。

### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

#### 【今後増加が見込まれる ASR への CFRP の混入】

現時点で CFRP の Automobile Shredder Residue (ASR) への混入が実際に起こっているが、今後自動車の軽量化に伴って CFRP の使用料は増えていき、ASR への CFRP の混入量も増えていくことが見込まれる。自動車リサイクルの現場では、自社に運ばれてきた時点ですでに車はプレスされた状態であるため CFRP が含まれているか不明なうえ、含まれていても破碎する前に CFRP のみを分けることはできない。そのため、結果的に、CFRP が ASR に混入する。現状では、CFRP の混入が客先で混入して問題になった場合には、受け入れ先の変更で対応している。

今後増えることが見込まれる自動車への CFRP の利用を踏まえると、車の解体工場の時点で CFRP 部品の取り外してもらう等、適切な前処理が必要である。車のどの位置に CFRP 部品が使われているかは自動車メーカーにしか情報がないため、自動車リサイクルへのメーカーの協力が必要である。

#### 4.3.5 廃棄物処理事業者 E

事業分類	収集運搬、中間処理
処理対象	各種産業廃棄物の処理。低濃度 PCB も含む。

#### (1) 背景・企業概要

- 大手産業廃棄物・特別管理産業廃棄物（低濃度 PCB）の収集運搬、中間処理事業者。
- 下水汚泥炭化事業、廃タイヤ燃料化事業、バイオマスたい肥化事業、廃熱利用の魚の養

殖事業を行っている。

## (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

### ②検討中

ロボットによる選別作業	
活用内容	企業系産業廃棄物の人の手による土間選別・ライン選別に自動選別ロボットを導入して、省人化、生産性向上を図る。
検討経緯	業者によって分別のレベルが違い、自社で仕分けを行っている。仕分け業務は人による土間選別で、時間がかかり大変な作業であるため、選別ロボットの検討を行っている。
導入効果	省人化、受け入れ量の増加、処理効率の向上。
導入の困難点	価格。
補助金等の活用	検討中。
導入の条件	価格が下がること、対応できる廃棄物の種類が増えること、選別の精度が向上すること。

### ③活用希望（ニーズ）

電子化による事務作業の効率化	
活用内容	紙の手書きマニフェストを電子化して活用・保管することで、省スペース化と過去の資料の検索時間を短縮する。
活用の課題	手書き情報の読み取り精度の向上、ルールの特文化（マニフェストの保管規定）。
期待効果	現在一部屋分保管されている紙の削減。

メッセージアプリケーションによる業務の効率化	
活用内容	アプリケーションを窓口として顧客から回収依頼を受け付け、依頼時に排出物の写真を撮影して添付してもらう。撮影した写真はクラウド上に保存され、自社営業担当者等が確認することで、業務の効率化を図る。社内の情報共有においても活用する。
活用の課題	アプリケーションの開発・選定、顧客への周知と導入活用依頼、幅広い顧客への対応。
期待効果	営業担当の業務の効率化、担当者の不要な移動の削減、電話通信時間の削減。

工場内の搬入車両の自動誘導	
活用内容	現在人が行っている工場敷地内の搬入車両の誘導業務を、AI および誘

	導システムを導入し、当日の搬入予定、車両台数、受け入れ業務・工程の空き具合を基に、系統的に誘導する。
活用の課題	効果が不透明、システム価格。
期待効果	搬入車両の待機時間の短縮、工場内事故防止。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

自社の場合、廃棄物処理において最も自動化できていない業務は選別である。選別にはノウハウが必要であり、習熟度によって業務の速度が大きく異なる。選別が機械的に出来るようになれば、選別作業の標準化が達成でき、労働災害防止にもなる。

##### 2) 設備の保全・監視

焼却炉のカロリーコントロールは現場作業員の経験に依るところが大きく、自動化することで属人化業務の平準化や炉の長時間稼働、燃焼効率の向上が見込まれる。

##### 3) 収集運搬の効率化

全国から搬入される PCB はピストン輸送されているため、効率化しにくいだろう。エリアでルート回収を行っている一般廃棄物廃棄物等の収集運搬事業者ならば効率化の余地があるだろう。

##### 4) IT化・電子化

業務に紙が非常に多く環境負荷の面でも好ましくない。また、過去の資料の検索に時間がかかる等の業務への支障もある。業務を電子化することができれば環境負荷の低減、業務効率となり、省スペースにもなるため工場の設備を増やすことができる。自社内で電子化に移行するには部門毎で紙として残すべき書類が違うため、一律に電子化は難しい。

#### ②リサイクルシステムの高度化

特になし。

#### ③エネルギー回収

焼却炉の廃熱を利用し、魚の養殖を行っている。

### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

特になし。

#### 4.3.6 廃棄物処理事業者 F

事業分類	中間処理（燃料製造）
処理対象	廃プラスチック、木くず

##### (1) 背景・企業概要

- 生産工程の可視化が進んでいないため、生産性のチェックや改善が十分進んでいない。IoT を用いた生産工程の可視化と生産性改善、工場の近代化が最重要テーマだと考えている。

##### (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

###### ②検討中

生産ラインのモニタリング（可視化）システム	
活用内容	搬送機、処理工程の機器状態、制御盤のインバーター温度管理などを、IoT 等を活用してモニタリングする。
検討経緯	作業員の熟練度によってラインへの廃棄物投入量に村が生じ、生産性低下や故障の原因となっている。まずは、生産ラインの可視化を進め、状況把握ができる仕組みを整備したいと考えている。 ラインでは光学選別機を導入し、塩素分の高いプラスチックを除去している。後工程から塩素分や熱量について要請があるため、品質担保の点から光学選別機による塩素分除去が重要である。
導入効果	—
導入の困難点	導入コスト。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	—

###### ③活用希望（ニーズ）

生産ライン、重機、作業状況の可視化	
活用内容	電池が破砕機に混入すると火災の危険がある。土間に広げて禁忌品の混入をチェックするのに莫大な時間を費やしている。 重機を用いた選別ラインへの廃棄物の投入を自動化したい。人間による作業では技量差によりムラが発生し、生産性の低下や投入しすぎによる故障の原因になることもある。
活用の課題	導入コスト。
期待効果	—

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

光学選別機を導入。生産ラインを可視化、自動化し、生産性を高めたいという希望は強い。

##### 2) 設備の保全・監視

故障の原因は人起源の問題のことが多い。予防保全を徹底しているので、整備不良による故障の頻度は低い。

##### 3) 収集運搬の効率化

特になし。

##### 4) IT化・電子化

特になし。

#### ②リサイクルシステムの高度化

特になし。

#### ③エネルギー回収

特になし。

### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

- 調査などで海外での可視化や遠隔管理について検証できるのであれば、取り組んでみたい。

#### 4.3.7 廃棄物処理事業者 G

事業分類	収集運搬、中間処理、最終処分
処理対象	総合

### (1) 背景・企業概要

- 産業廃棄物処理企業グループ。
- 産業廃棄物処理のほとんどの工程をカバーする。

### (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

#### ②検討中

ドローンによる最終処分場の残余量の測量
---------------------

活用内容	ドローンを活用して最終処分場の残余量を自動的に測量する。
検討経緯	最終処分場の残余量は1カ月に1回3名の作業員が行っている。この業務をドローンに置きかえることで省人化を図る。
導入効果	省人化、生産性の向上。
導入の困難点	開発途中。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	—

#### 収集運搬の自動配車システム

活用内容	産業廃棄物、事業系一般廃棄物の収集運搬の配車業務を自動化する。
検討経緯	これまで属人的に行っていた収集運搬車両の配車計画を、AIで置き換えて、属人化した業務の標準化、効率化を図る。
導入効果	—
導入の困難点	開発途中。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	—

#### 建設系混合廃棄物の自動選別ロボット

活用内容	建設系混合廃棄物の分別工程にロボットを導入して、自動選別を行う。
検討経緯	建設系混合廃棄物の分別は人間が行っており、労働負荷が高い。
導入効果	省人化、生産性の向上。
導入の困難点	開発途中。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	—

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

特になし。

##### 2) 設備の保全・監視

特になし。

##### 3) 収集運搬の効率化

特になし。



#### 4) IT化・電子化

特になし。

#### ②リサイクルシステムの高度化

特になし。

#### ③エネルギー回収

特になし。

### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

#### 【廃棄物のプラットフォーム構想】

廃棄物処理業界には民一国一自治体での情報連携が必要であり、その情報連携の基盤となるのがプラットフォームである。具体的には、民間事業者の既存の「マニフェスト情報」や「優良認定情報」を第三者機関（日本産業廃棄物処理振興センターや産業廃棄物処理事業振興財団）を活用してデータベース化・一元管理し、誰でもアクセス可能なオープンシステムとして整備する。

#### 4.3.8 排出・リサイクル事業者H

事業分類	排出事業者、リサイクラー
処理対象	—

#### (1) 背景・企業概要

- 事務機器、光学機器などの製造を行っているメーカー。
- 早くから持続可能な社会実現に向け、環境保全活動と経営活動を同軸であると捉え「省エネ・温暖化防止」「省資源・リサイクル」「汚染予防」の領域で環境負荷削減に取り組んでいる。

#### (2) IoT等先端技術の活用・検討状況

##### ①活用中

複写機回収交換システム（共同物流）	
活用内容	自社の複写機を納品する際に、他社の複写機であっても帰り便で回収し自社の倉庫に保管、一定量集まると交換センターに持っていき、他社が集めた自社の複写機と交換する。
活用経緯	これまで他社の複写機への入れ替えでは、自社の複写機を回収し、他社が他社製品を持ち込むという仕組みで、どちらも片道は空荷であり

	回収の物流効率が低かった。
導入効果	共同物流による効率化、低炭素化効果に加え、自社の複写機を回収できるため、リファービッシュ後のリユースやリサイクルの高度化が可能となった。
導入の困難点	対象となっているのは複写機に限られる。また、全ての複写機メーカーがこの仕組みに加盟している訳ではない。未加盟企業の複写機であっても回収を行うが、交換は行わず自社の回収センターで分解・リサイクルをしている。回収量の少ないメーカーの場合、交換料金が高くなるという不満もある。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	業界団体が実施することで可能な限り公平な形で仕組みを作り、業界のルールとして定着させた。

### ③活用希望（ニーズ）

廃棄物「処理」トレーサビリティシステム	
活用内容	現在は、回収した製品のトレーサビリティが確保されており、分解された部品ごとにまとめて処理やリサイクルに回される（いろいろな機番のものが混ざる）。排出先ではいろいろなところからの廃棄物を一緒に処理していくため個別の廃棄物トレーサビリティはあまり意味がなくなる。個別の排出物トレーサビリティに代わって、受け入れ先の廃棄物処理業者のトレーサビリティを確保することで、適正な廃棄物処理が担保される。システムとして、業者のリアルタイムの情報を容易に取得・閲覧できる DB や PF が必要である。
活用の課題	—
期待効果	排出者責任の徹底、適正処理の推進。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

分別のレベルが上がれば、受け入れ単価を上げられ、排出単価を下げられるので、中間処理業者には分別設備の高度化ニーズがある。また、中間処理の設備によってリサイクル率が変わるため、設備の高度化は中間処理業者だけでなく前工程・後工程にとっても波及効果（メリット）が大きい。

##### 2) 設備の保全・監視

特になし。

### 3) 収集運搬の効率化

特になし。

### 4) IT化・電子化

特になし。

## ②リサイクルシステムの高度化

自社製品を回収してリサイクル（分解・分別・リユース）するうえで必要な情報はすでに取得できる仕組みとなっている。一方で、分解後の部品の排出時には、排出先の業者との情報連携は十分とは言えない。排出者と排出先との間で情報連携をすることで、排出時の分別や中間処理での分別のレベルを上げることが出来る可能性はある。例えば、排出側が排出時に分けておけばリサイクルできるものが、分けられておらず後工程では焼却するしかないといった事例はある。

## ③エネルギー回収

特になし。

## (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

### 【ナショナルソード（チャイナ BAN）の影響と国際資源循環構築のための PF 構想】

ナショナルソードの影響が大きい品目はプラスチックと金属で、特に日本国内にマテリアルリサイクル工場がないプラスチックが深刻である。チャイナ BAN 以来、中国へ輸出されていたプラスチックの輸出先が、タイ、マレーシア、ベトナムなどの東南アジアに変わったが、各国の規制状況が刻々と変化しており見通しが立っていない。日本では各国の規制状況をつかむのが非常に困難である。各国の機関が出す法令の原文は各国の言語で書かれているため簡単には読めないため、現在は現地から得られる断片的な情報を積み重ねて情報の確度を上げている。

これまでは中国でマテリアルリサイクルされていた廃プラスチックが、現在では国内のサーマルリサイクルに流れており、これまでサーマルリサイクルしていた廃プラスチックが受け入れてもらえない状況が出てきている。現在においても廃プラスチックの受け入れ先を探すために業務の時間がとられており、日本の動脈産業は強い不安を感じている。

国内におけるプラスチックの再生材の規格はあるが、実際にはお金の掛け方の問題となる。規格化したところで利益が出なければマテリアルリサイクルを行う企業は増えないだろう。今後、廃プラスチックの処分価格の上昇に伴って、経済性が出てくる可能性は否定できない。

今回のナショナルソードで、日本としての国際資源循環の進め方が問われている。国際資源循環のために最も必要な情報は現地の処理業者の情報（設備、リサイクル率、信頼できるか等）と現地の法律・規制のリアルタイムの情報である。国内の場合には、現地の処理・

リサイクル工場の視察を行った上でちゃんと適正に処理・リサイクルされているのかといった調査を行っている、行うことが可能だが、海外となると現実的には難しい。海外の廃棄物処理業者の情報プラットフォームが構築されれば、日本中全ての製造業にとって利益であり、より適切な国際資源循環、廃棄物処理・リサイクルが可能となる。併せて、日本は海外へ積極的に関わり、リサイクルの主導権をとることが必要であり、日本の廃棄物処理・リサイクルのモデル、システムを海外に発信していく必要がある。

#### 4.3.9 素材製造事業者 I

事業分類	セメント製造
処理対象	—

##### (1) 背景・企業概要

- セメント原料として廃プラスチック、がれき、燃えがら、汚泥等の廃棄物を利用している。

##### (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

###### ①活用中

原料調達における電子マニフェストの活用	
活用内容	セメント原料として廃棄物の調達する際に電子マニフェストを活用する。
活用経緯	セメント原料・燃料の廃棄物の調達は未だに FAX でのやり取りを行っていた。調達を電子化することで業務の効率化を行った。
導入効果	調達業務の効率化、ミス防止。
導入の困難点	大手の廃棄物処理事業者ではマニフェストは普及しているが、自治体などではコスト面で電子マニフェストを導入が進んでいない。
補助金等の活用	なし。
導入の条件	自社では導入済み、普及には価格が課題。

###### ③活用希望（ニーズ）

廃棄物在庫の自動管理および搬送・投入システム	
活用内容	現在、人の手で行っているストックヤードの定期的な在庫量測定を、IoT（センサー）を付けることで、無人化・リアルタイム化する。また、現在フォークリフト 2 台で行っている、廃棄物を数 10-100 m 離れた所定の場所まで移動させる定型的な搬送を、自動搬送ロボットを導入して自動化する。投入口まで搬送された廃棄物は自動クレーンによっ

	て投入し、投入タイミングの平準化を行う。
活用の課題	自動搬送ロボットは扱える重量、環境の点で、まだ工場での実用レベルではない。 受け入れる廃棄物が不均質のため、事前の破碎、異物除去、投入時の均質化が不可欠である。
期待効果	工場の 24 時間稼働、省人化、搬入トラックの待ち時間の短縮。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

異物、塩ビの混入を最下流のセメント製造だけで防ぐのは難しく、前工程での分別の高度化は必要である。特に塩素分の除去が高精度にされていれば、セメント製造に使える廃プラスチックに量は増やすことも可能である。また、受け入れる際の品質にばらつきがなくなれば有価で受け入れることも可能である。

##### 2) 設備の保全・監視

セメント製造設備はもともとプラントであり、新たに IoT 導入のニーズはあまりない。

##### 3) 収集運搬の効率化

廃棄物の排出・処理・需要の地域差、物流の地域差を小さくする／利用したサプライチェーンの確立が必要である。廃棄物セメント利用のサプライチェーンに関して言うと、石灰岩鉱山がありセメント工場があるのは西日本、セメントの需要があるのは東京や大阪などの大都市圏に集中、廃棄物は全国から集まる。これらを繋ぐ物流網は、東日本は陸送が多く、西日本では海運が主流である。昨今は、トラックドライバーの数や小型の貨物船や JR 貨物の便数が減っており、物流を維持すること自体が難しくなっている。これらの問題を解決するために、廃棄物においてもモーダルシフトを真面目に検討すべきである。

##### 4) IT化・電子化

電子マニフェストが普及ニーズは強い。

#### ②リサイクルシステムの高度化

排出事業者と協議のうえ、廃棄物の季節変動の平準化を図り、安定的な廃棄物の活用を行っていききたい。例えば、夏冬は電力需要が多いため、火力発電所から大量に石炭ばいが排出される。今は自社のストックヤードを活用しての廃棄物活用の平準化を行っているが、受け入れ切れないのが現状である。廃棄物利用量を増やすにはストックヤードに保管する量を増やし、長期間かけて消費する必要があるが、保管量は 14 日間ルールがあるため限界がある。今後、廃棄物保管量の限定的な緩和などが行われれば、利活用できる廃棄物量を増や

すことが可能である。

### ③エネルギー回収

特になし。

## (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

### 【排出者の分別の徹底】

セメント製造における廃棄物活用を行う上で、廃棄物の分別が十分とは言えない。現状は、異物混入があれば、即受け入れを停止し何らかの改善（設備、教育の徹底など）がなされるまで受け入れの再開はしないという措置をとっている。排出者の分別の徹底をルール化し、国の指導によって順守の徹底がなされれば大幅に改善されるだろう。排出事業者も正しく分別して排出することで、結果的に廃棄物の量が減り、処理費用が削減されるためメリットがある。

### 4.3.10 事業者J

事業分類	廃棄物処理向け IT システムベンダー/SIer
処理対象	—

## (1) 背景・企業概要

- 産業廃棄物処理業界向けパッケージソフトウェアを開発、展開。
- 産業廃棄物処理業界に詳しい IT ベンダーの視点からのヒアリングを実施した。

## (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

### ①活用中

産業廃棄物処理業界を対象としたパッケージ開発	
活用内容	産業廃棄物処理事務支援システム。
活用経緯	中間処理と最終処分の販売管理、配車などのパッケージシステム ・配車管理などの計画などを実装 ・属人性をなくした計画や現物の確認などができる仕組みの構築をしている事例がある。
導入効果	—
導入の困難点	—
導入の条件	—

### ②活用希望（ニーズ）

特になし。

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

#### ①業務効率化・高度化用途

##### 1) 廃棄物リサイクルの高度化

特になし。

##### 2) 設備の保全・監視

特になし。

##### 3) 収集運搬の効率化

顧客はトラブル（違法性、事故）を避けるため混載には関心がない。一社完結で収集運搬したい顧客が多い。

タブレットでデータを入力する、車両管理に GPS を使うなどの方法で、ドライバーの作業効率をよくすることが主眼。

最近人手不足を反映して、収集運搬のルート最適化に対するニーズがある。ごみの蓄積量を測定して収集のタイミングを把握したいというニーズはある。カメラやセンサーを用いたソリューション開発に取り組んでいるようである。

トラックの搬入平準化による低炭素化ができるのではないかと。持ち込み予定とおおまかな受け入れ時間を指定し、搬入待ちのトラックの渋滞を緩和する。車両の積み荷を現場で事前に把握することで、荷下ろしの時間がかかる車両を把握する、荷下ろしの準備を事前におこなう、などの対応をおこない、トラックの渋滞を緩和し低炭素化を進めることができるのではないかと。実装する際は、トラックに GPS をつけてタブレットでデータを入力する、データをクラウドに挙げて業務システムと連携するなどの方法が考えられるだろう。

##### 4) IT化・電子化

顧客はそれほど電子マニフェストを積極的には使っていないようである。排出事業者からの指定がある場合は電子マニフェストを使うが、そうでない場合はあまり積極的ではない印象がある。急に搬入される廃棄物は紙マニフェストで管理せざるを得ない。また、中小が発注する場合、サプライチェーンの途中で電子マニフェストを使わない事業者がいると一貫通貫に処理できないことが課題になっているのではないかと。現場の IT スキルが低いために活用されていないわけではないだろう。

現場のニーズは契約管理である。受け取っていい搬入物かどうかなど、契約の内容を現場で効率的に把握したいというニーズが強い。

契約の電子化については、昨今 OCR や RPA などのさまざまなツールが出始めている。手書き文字をすべて正確に認識するのは現時点では難しいが、PC で作成した活字やマークシート、フォームなどを使うことができれば精度が高いだろう。おおまかな作業を自動システムが最初に行い、最後の確認を人間が行う形にすれば、省力化を進めることができるので

はないか。

また、さまざまな書類の入力データを分析し、どのようなミスが多いかを把握して入力時にアラートを出すようなこともできるのではないか。

#### ②リサイクルシステムの高度化

リサイクルシステムの構築という点では、エネルギー回収、リサイクル製品の製造などの取組をしている事業者もいる。

先端情報通信技術の活用という点では、排出から収集運搬、中間処理、最終処分まで、ロケーションを含めたトレーサビリティに取り組みたいという顧客がいる。現状では分断されて調べられない場合があるので、トレーサビリティの精度を上げたいという意図である。同時に、県またぎの収集運搬など複数の県が関与する許認可の効率化なども情報通信技術を活用して効率化できないか、と考えている。

#### ③エネルギー回収

特になし。

#### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

廃棄物処理事業者では、省力化対策への期待が強い印象を持っている。

#### 4.3.11 事業者K

事業分類	IoT センサー・システム開発ベンダー
処理対象	—

#### (1) 背景・企業概要

- 電機メーカー等の子会社として、IoT センサー、IoT ソリューション開発に注力。特に製造業の生産工程や製造設備を想定した振動センサーによる予兆保全を優先的なターゲットとしている。
- 産業処理廃棄物処理工場への視察も実施していることから、IoT ソリューション／センサー開発の立場からのヒアリングを実施した。

#### (2) IoT 等先端技術の活用・検討状況

##### ①活用中

予兆保全向け振動センサーなどのデバイスとソリューションの開発	
活用内容	工場設備に設置して予兆保全を行うセンサー。
活用経緯	振動センサーと予兆保全ソリューションの開発を進めている。 ・ 予兆保全ソリューションは、設備機器の振動を測定し、通常状態



	<p>とのずれから異常の傾向を発見する。産業分野に多い回転機器の状態を監視し故障などの異常を早期発見することを目的とする。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 振動センサー単体ではなく、クラウドやコンサルテーションも含めたソリューションとして提供している。</li> <li>・ センサーデバイスは電池で駆動し、無線でデータを送信するため、配線が不要である。1日1回一定時間（何秒間程度）のデータを取得して送信するだけであれば、3年くらい電池交換が不要である。将来的にはエッジコンピューティングやエネルギーハーベスト技術の導入も考えている。</li> <li>・ 産業廃棄物処理工場でも回転機器は多いようであるので、予兆保全のニーズがある場合は振動センサーが使えるかもしれない。</li> <li>・ FFT（フーリエ解析）により信号のスペクトルの特徴とその推移を監視している。振動以外のデータを組み合わせてAI（人工知能）を活用することも考えられるであろう。</li> </ul>
導入効果	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 配線が不要なことで、設置が容易。例えば工場のロボットアームの関節部分の故障検知に使えないか検討を進めている。</li> </ul>
導入の困難点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 産業廃棄物処理工場では、湿度や粉じんなどの環境面の厳しさに対応する必要がある。</li> <li>・ 生産設備の個別性が高い場合、事前のデータ検証やAIの学習に必要なコストが問題になるだろう。別の機器で学習させたデータを流用することが難しく、それぞれの設備機器でデータの検証やAIの学習のコストが必要になる可能性がある。</li> </ul>
補助金等の活用	—
導入の条件	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予兆保全ソリューションは秋の量産化を目指している。簡易スタートキットが数十万円程度で導入しやすくなっている。適用可能性を検証する実証が別に必要で、そちらは都度見積りである。</li> </ul>

### (3) 先端技術活用領域ごとのニーズ

特になし。

### (4) 先端情報通信技術の活用や業界の方向性へのご意見

#### 【IoT・AI等の導入について考察】

廃棄物処理工場や設置された設備は、規模がそれほど大きくなく、かつ個別性が高く横展開も難しそうであることから、大掛かりなソリューションの導入は難しい面があるように感じている。

実際に廃棄物処理工場を視察したが、現場の課題が作業者の熟練度に起因しているうえ多能工的な働き方が多く、IoT等の活用ハードルが高いように感じた。場合によっては工場

の工程を考え直す、設計段階から IoT や AI の活用を考慮に入れるなどの対策が必要ではないか。

湿度や粉じんなど、環境の厳しさへの対応も必要である。

## 5. 先端的な情報通信技術を活用した産業廃棄物処理の低炭素化の方向性

5章では、これまで得られたヒアリング結果を踏まえて、産業廃棄物処理における先端情報通信技術を活用した低炭素化を推進する施策の方向性について検討した。

まず 5.1 節でヒアリングから得られた産業廃棄物処理における先端技術活用の主な動向や現状についてとりまとめ、次にそれらの動向や現状を踏まえた低炭素化推進の方向性について 5.2 節で示した。5.3 節では、5.2 節でとりあげた 3 つの低炭素化の方向性と共通するサプライチェーンの円滑化について、さらに具体的に個別の内容を示した。5.4 節では、低炭素化施策を進めるための基盤整備について記述した。

### 5.1 ヒアリング（先行事例、事業者）から得られた先端技術活用の動向

- 本調査ではヒアリングを実施し、産業廃棄物処理における先端的な情報通信技術の活用状況、低炭素化効果、事業者ニーズについて調査した。
- 産業廃棄物処理における先端情報通信技術の活用はまだ始まったばかりで、事業者のニーズと活用の実態にギャップが存在する。現時点では一部の先進的な事業者で導入が試行され始めた段階で、通常の実業者では電子マニフェストやコミュニケーションツールなどの IT 活用が中心となっている。一方で、産業廃棄物処理事業者の IoT・AI・ロボット等の先端情報通信技術への関心は高まっており、今後を見据え、企業内に技術活用の部署を設置するなどの取組をはじめめる企業が現れている。
- 特に技術的に注目度が高いのはロボット等を用いた選別の高度化である。省力化という側面から、選別の自動化、機械化、高度化を進めたいと考える事業者が多い。ただし、現時点ではまだ技術的に発展途上であり、かつ、処理工程における活用方法のノウハウが蓄積していない状況である。また、光学選別機や LIBS ソーター等のセンサーを用いた高度選別機器の活用拡大やセンサー識別の高度化も、サーマルリサイクル/ケミカルリサイクル拡大や、廃棄物の再生素材化を見据えると重要である。
- 業務効率の改善という観点からは、先端情報通信技術を活用した収集運搬の効率化や産業廃棄物物流の改善に関心を持つ事業者が多く、実際に先端情報通信技術を用いた実証の事例も複数始まっている。複数の企業による共同収集を円滑化する試み等が進められている。
- 他にも、中間処理工場の生産ラインの可視化・自動化・近代化による生産性の向上やサービス向上に対する関心がみられた。
- 先端的な事業者やシステムサプライヤーは、廃棄物処理におけるプラットフォーム構築を念頭に入れた検討を進めている。例えば、処理業者のリサイクル方法と排出事業者・廃棄物とのマッチングが可能になると、リサイクル率の向上や低炭素化に貢献すると考えられる。これは廃棄物のサプライチェーンの円滑化を目指す取り組みと言える。

## 5.2 低炭素化の方向性

- 低炭素化には、先端的な情報通信技術を活用した「リサイクルの強化による埋め立て量削減」「エネルギー回収の強化」「オペレーションの低炭素化（効率化）」の大きく3つの方向性が考えられる。「埋め立て量の削減（リサイクルの強化）」では、リサイクルの歩留まり向上により資源利用量の削減による低炭素化を進める。「エネルギー回収の強化」では、発電効率の向上や熱回収の拡大等により代替分の化石燃料消費を低減する。「オペレーションの低炭素化（効率化）」は産業廃棄物処理業務自体の低炭素化を進める。
- これらの低炭素化に、5.1 節で示した先端技術活用が貢献する（図 5-1）。「埋め立て量の削減（リサイクルの強化）」では、リサイクルの歩留まり向上に自動選別ロボットや高度センサー選別機器、工程間の組成情報連携などが貢献する。「エネルギー回収の強化」では、焼却炉の可視化や最適制御、廃棄物の組成・量の把握、適切な処理方法への振り分けなどの技術を活用できる。「オペレーションの低炭素化（効率化）」では、AI 配車技術、可視化技術等が関係する。

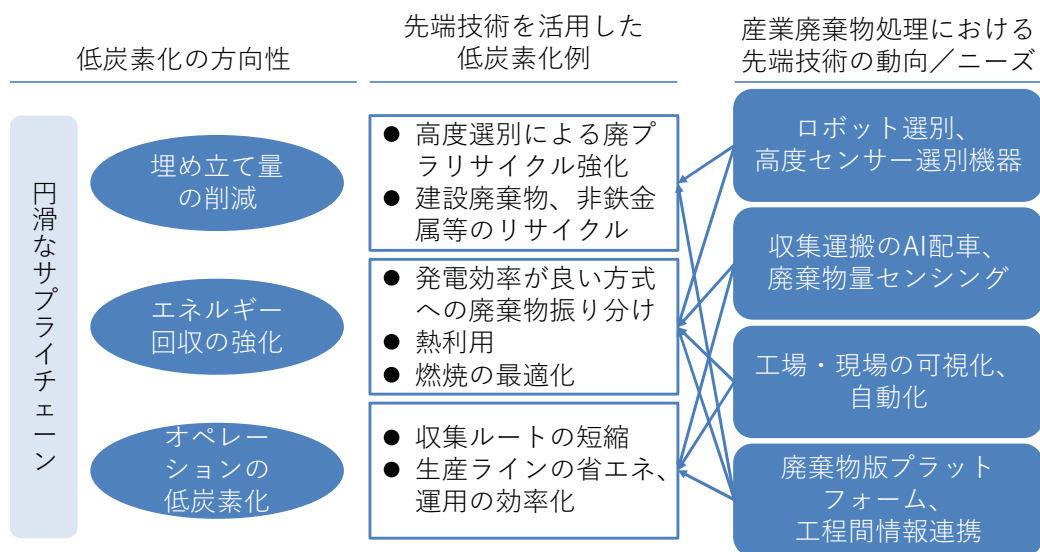


図 5-1: 先端情報通信技術を活用した低炭素化の方向性

- さらに、サプライチェーンの円滑化はこれら低炭素化の方向性すべての共通課題となる。廃棄物の排出量や組成情報、危険物混入の有無など、工程間で適切な情報を共有することができれば後工程の処理が円滑化しリサイクル率向上やエネルギー回収の促進が期待できるとの指摘がヒアリングで多く聞かれた。また、排出される廃棄物と最適な処理事業者のマッチングなどにより、処理キャパシティの有効活用や適正な処理方法の選択が可能となる。
- これらの方向性は、廃プラ処理の問題解決や省人化という観点からも有効である。リサ

イクルの強化に向けた自動選別ロボットやセンサー選別機器の活用は、産業廃棄物処理工程の生産性を大幅に高め、省力化に貢献する。収集運搬の効率化は車両台数の削減につながり、省力化の効果を有する。また、これら先端情報技術の活用は、廃棄物処理業務の近代化、地域住民のイメージ向上につながり、産業廃棄物処理業界の底上げにも資することも期待できる。

### 5.3 低炭素化における先端的な情報通信技術の役割

#### (1) 埋め立て量の削減（リサイクルの高度化）への技術活用

「埋め立て量の削減（リサイクルの高度化）」に直接関係する先端技術のうち、特に取り組みが活発化している分野として、自動選別ロボットや高度センサー選別機器などの物理選別の高度化をあげることができる。

これまでも光学選別機器などのセンサーを用いた選別機器が開発・活用されているが、LIBSなど新しい物質を対象とした識別技術により、さらに高度な選別機器の開発が進んでいる。

昨今特に技術進歩が顕著にみられるのがロボット技術を活用した選別機である。これまでエアージェット等で行っていた廃棄物の分離をロボットアームで行うことで、選別の柔軟性を高めることができる。

具体的なりサイクル・廃棄物処理の工程では、建設系混合廃棄物の選別や金属のリサイクル・再生素材化を高度化させる、廃プラスチックなどでも、高度選別により処理後の塩素分を低減する、危険物の確認をおこなうなどにより、後工程での処理の受け入れ余地の拡大を支援するなどの施策が重要と考えられる。選別の高度化により、これまで単純に埋め立て／焼却されていた廃棄物をサーマルリサイクル／ケミカルリサイクル／マテリアルリサイクルにまわすことができる。これは、バーゲン資源の消費量削減やエネルギー回収を通じて低炭素化に寄与すると考えられる。

#### (2) エネルギー回収の強化への技術活用

エネルギー回収高度化には、既に焼却炉などの発電効率の向上のため、センサーを用いた燃焼状態の監視、最適制御などの技術活用が行われている。これは発電効率を高め、低炭素化に寄与している。

今後さらに低炭素化を進めるため、より適切な処理方法に廃棄物を振り分ける、需要と供給のマッチングを行うなどの取組にIoT等の先端技術を活用することを支援する施策が重要と考えられる。

一つの例として有機系廃棄物（食品ロス等）と廃プラスチックの振り分けが考えられる。食品ロスを焼却炉に投入するとカロリーが下がり助燃剤が必要になるなど燃焼効率が落ちる。一方、メタン発酵施設にプラスチックを投入すると残渣が増加する原因となる。事前に廃棄物の処理先を適切に振り分けることができれば、全体の発電効率を向上させ、低炭素化を進めることができる。

また、廃棄物からのエネルギー回収は発電に限らず、熱回収など他にも効率が良い選択肢がある。熱回収においては熱需要と熱供給のマッチングが必要になるため、ここでもIoT等の先端技術の活用余地があると考えられる。

### (3) オペレーションの低炭素化（効率化）への技術活用

産業廃棄物処理のオペレーションの各工程でも、効率化による低炭素化の余地が大きい。ヒアリングの結果では、特に収集運搬の効率化に課題意識を持つ声が多かった。そこで、先端情報通信技術を用いて廃棄物の量や組成の情報を収集し、得られたデータから人工知能（AI）を用いて最適な収集ルートを計画するなどオペレーションの最適化を支援する施策により、低炭素化を進めることができると考えられる。

一方、産業廃棄物処理の現場では、今後選別ロボットに限らず解体ロボットや配送ロボット、自動倉庫などの活用が増加することが予想される。これはエネルギー消費量を増加させる側面があるものの、産業廃棄物処理の高度化という観点からは必然の流れと考えられることから、高度化と低炭素化が両立するよう、再生可能エネルギーの有効活用等の取組も進めていくべきと考えられる。

### (4) サプライチェーンの円滑化

産業廃棄物処理分野で先端情報通信技術を用いた低炭素化を進めるためには、(1)～(3)で示した各アプローチでの技術活用に加えて、共通してサプライチェーンの円滑化を進める視点も重要である。

リサイクルの高度化においては、仕様の工程間連携が十分でないことがリサイクル推進の制約の一つとなっている。また、エネルギー回収においても、デマンドの情報が円滑にやり取りされていないことが制約となっている。配車の効率化では、センサーなどを用いた廃棄物量の把握や複数企業間の情報連携が効果を高めると期待できる。

そこで、廃棄物・再生素材のサプライチェーンにおいて、先端情報通信技術を活用して、上流工程と下流工程の間で、

- 「廃棄物・再生素材の発生量の情報、組成情報、品質情報、危険品・禁忌品（処理情報）」
- 「車両や処理施設の利用可能リソース量、廃棄物の受け入れ可能量、エネルギーに対する需要量」

などの情報連携を進めることにより、(1)～(3)のアプローチの低炭素化を促進できると考えられる。

## 5.4 先端的な情報通信技術活用に向けた基盤整備

個別工程の高度化や情報連携などの先端情報通信技術活用を効果的に進め、効率的な廃棄物静脈サプライチェーンを構築するうえでは、最終的な産業廃棄物処理や再生素材化に

必要な品質などの規格について、国の委員会や業界団体を中心とした議論を進めるなどの基盤整備施策が重要と考えられる。

この際、再生素材の品質の規格化においてはバージン材における品質保証をそのままあてはめることは難しいため、工程保証によって品質を間接的に担保するなどの工夫が必要である。実際に、金属やプラスチックの水平リサイクル先進企業では動脈メーカーと協議の上、工程保証を取り決めている。

また、IoT の技術を活用することで、トレーサビリティの信頼性を高めることができる。先端情報通信技術を活用することで、信頼性の向上と効率化を両立させることができると考えられる。技術を活用した信頼性の確保手法と規制の最適化について検討を進め、産業振興と技術活用の基盤整備を進めることが有効である。

## 6. 有識者へのヒアリング結果

6章では、産業廃棄物処理における低炭素化推進施策の方向性について、有識者を対象としたヒアリングを行った結果を示した。

### 6.1 ヒアリングの実施概要

先端的な情報通信技術を活用した産業廃棄物処理の低炭素化について、有識者の意見を聴取した。

ヒアリングは、産業廃棄物処理における先端情報通信技術活用による低炭素化推進への示唆、低炭素化に向けた方向性仮説の妥当性、技術的な方向性、低炭素化効果の定量化等を確認することを目的として実施した（表 6-1）。

表 6-1: ヒアリングを実施した有識者

有識者 (敬称略)	所属	主なヒアリング内容
藤井実	国立環境研究所	<ul style="list-style-type: none"><li>● 産業廃棄物処理における IoT 等先端情報技術活用による低炭素化の方向性全般</li><li>● エネルギー回収、熱回収における先端技術の役割</li></ul>
小野田弘士	早稲田大学	<ul style="list-style-type: none"><li>● 産業廃棄物処理における先端情報技術による低炭素化施策の進め方と方向性</li></ul>
大和田秀二	早稲田大学	<ul style="list-style-type: none"><li>● 物理選別技術</li></ul>
山本雅資	富山大学	<ul style="list-style-type: none"><li>● 廃棄物物流における先端情報技術活用による低炭素化</li></ul>
松本亨	北九州市立大学	<ul style="list-style-type: none"><li>● 低炭素化効果（7章）の妥当性</li></ul>

### 6.2 ヒアリング結果

#### 6.2.1 藤井実先生（国立環境研究所 社会環境システム研究センター 環境社会イノベーション研究室 室長）

- 先端情報技術の活用は、排出、収集運搬、中間処理、最終処分のすべての領域で有用であろう。活用の方向性は2つあり、一つはこれまで人間がやっていた作業の代替、もう一つは人間にはできなかった作業を可能にすることである。
- 廃棄物の処理・リサイクルの低炭素化を進めるうえで、組成がわかれば塩素分量の除去や塩素量を考慮したブレンドなど、できることが増えるはずである。理想としては、組成を把握して、その廃棄物に最も適した処理をすることが望ましい。
- 一方で組成が分かったところでリサイクルできない廃棄物も存在する。例えば、容器包



装プラスチックなどはもともと複合材料であり、組成が分かったところで簡単にリサイクルすることはできない。

- 熱回収のうえ近接工場で利用することは、エネルギー回収・リサイクルの中でもエネルギー効率・低炭素化という評価軸では優れたシステムである。油化や焼却発電のエネルギー効率は20%、マテリアルリサイクルのエネルギー効率は30-50%程度なのに対し、熱利用はマテリアルリサイクルと同等の効率を得られる。韓国ではすでに焼却炉の廃熱を蒸気に変換し近隣の工場で活用する取組が15カ所で行われているが、焼却炉発電を行い売電するよりも経済性が高いことが分かっている。日本では焼却炉の廃熱の近隣工場での利用は進んでいないのが現状である。
- 熱回収および近隣での熱利用の取組は、焼却炉に熱を利用する工場が近接する必要がある。障害物がない場合、数キロ圏内ならば十分経済性がある。工場での熱利用を促進するためには安定した熱供給が必要であり、その際に、IoTを活用して廃棄物の組成情報の取得や焼却炉の廃熱量予知ができれば、熱需要と廃棄物焼却による熱供給のマッチングがとりやすくなるであろう。
- 収集運搬の効率化は、コスト削減効果は大きいですが、廃棄物1tあたりの低炭素化効果が少ない側面がある。
- 個社のリサイクル技術は日々向上しているが、技術向上分に見合う付加価値が向上しているか不明確である。リサイクル技術向上に伴う付加価値向上効果については、一度FS等調査を行うべきである。
- 基準案については、低炭素化のポテンシャルが高いことが重要であろう。広がりを感じられるかどうかという視点になる。方向性に大きい違和感はない。ただし、IoTは当初はまだしも、本来は自力で投資する方向性になるべきである。

#### 6.2.2 小野田弘士先生（早稲田大学 理工学術院 環境・エネルギー研究科 教授）

- メーカーから再生素材業者までの一貫した情報連携が必要だが、動脈産業と静脈産業ではリサイクルに対する意識に差があるため、うまく連携体制を構築できない場合が多い。自社でリサイクルのイニシアティブをとる形での体制づくりを考えている素材企業も存在する。
- 低炭素化とは方向性が異なるが、産業廃棄物処理分野では労働安全の改善にも先端情報通信技術活用が重要な役割を担うだろう。作業員の行動管理や熟練者の動きを解析しデータ化し作業を標準化するニーズは多い。
- 廃棄物発電の問題点は、電力会社から安定電源と見做されていないことである。原因は、廃棄物発電は発電が第一目的ではなく、あくまでも廃棄物の焼却処分が目的であるため、発電量が投入量と種類で変動するためである。廃棄物発電を安定電源として活用してもらうには、投入量をコントロールしての発電計画を行う必要があり、IoTを活用しての廃棄物在庫管理・投入計画やAIを活用した電力需要に応じた発電計画を含めて大きいシステムとして構築していく必要がある。

- 輸送での低炭素化は難しい。個社での効率化は難しく、企業間連携も難しい面があるため、プラットフォームを作っていく方向になる。技術的な転換点は収集運搬車両の進歩であり、車両のハイブリット化、EV化がなされることで大幅な低炭素化効果が期待できる。
- ロボットは家電の解体でも活用されている。今後は人が触りたくない感染性廃棄物などの焼却炉への投入などにも活用できるのではないか。
- ロボットや IoT については、消費電力が増えることは認め、その分再エネを有効活用するという方向性が良い。
- 太陽光発電パネルの廃棄物など、今後予測されている課題に取り組む視点も重要だろう。
- 低炭素化の取組にはいろいろな段階があり、FS にすらならない調査や国の委員会での検討段階のソリューションから、ある程度方向性が固まったものは FS や実証に移るものも出てくるだろう。最先端の取組はまずモデル事業を考えて一度やってみるところが大切であり、関係者が集まって一つの方向に向かって取り組むことに価値があるだろう。基準案としては波及効果がある方向性で考えるとよい。大規模事業者に加え、中堅の産業廃棄物処理事業者が使える内容で考えるのが望ましい。

### 6.2.3 大和田秀二先生（早稲田大学 理工学術院 創造理工学研究科 教授）

- 廃棄物処理・リサイクルの選別の高度化や組成のトレーサビリティによる低炭素化を目指すのであれば、まず「再生素材の品質や処理に必要な要件」「処理のフロー」を上流工程と下流工程の間で連携する、業界団体などで標準化するなどの取り組みを進めていくべきである。廃棄物の物性情報の収集は素材産業にも紐付くので、これから重要な情報になる。
- 排出段階や上流工程で素材の組成情報をできるだけおさえ、中間工程でそれを踏まえて、後の廃棄物受け入れや再生素材化工程が必要とする品質や仕様になるよう、処理を選択することが必要である。危険品の分離を早い段階で行い、その情報をトレースする。残りは資源として活用できる。
- 後工程が必要とするものを効率的に作って高く売ることが重要。例えばアルミニウムであれば、カスケードリサイクルではなく展伸材で売れるものを作れば、変わってくる。ただし、日本の素材産業は高品質なものを欲しがるというハードルもある。
- 選別は、これからはバルク選別だけではなくセンサー選別が高度化するであろう。センサーで物性を認識することは現時点でもかなりできるが、今後は認識した素材を分離する技術の高度化が必要である。エアーやアーム、マグネットなどの方法がある。
- CFRP の処理について 2 つの問題があり、一つは他のプラスチックと CFRP を分別する方法がないこと、もう一つは CFRP をどうやって処理するか、である。どちらも 3 年程度で実用化するだろう。
- 天然資源が枯渇していく中、廃棄物の資源としての重要性は増している。廃棄物を活用

するには情報が必要だが、ほとんどの場合はメーカーから廃棄物の情報は提供されないため、現在は大学や研究機関がデータベース化を行っている段階である。今後、廃棄物情報は戦略上極めて重要になっていくだろう。

- 現在は動脈産業と静脈産業はほとんど接点がなく相互コミュニケーションをしたことのない状態で、お互いの論理に従って動いている。例えば、動脈産業がリサイクルを考えると、逆工場（製造の逆工程で解体する）を考えがちだが、経済合理性がでないということが往々にしてある。一方、静脈は、リサイクル設計されている製品であっても独自に解体・処理してしまうため、リサイクル設計の効果が得られない。今後、動脈と静脈のコミュニケーションは必要であり、動脈メーカーは製品を作るうえでは素材調達と合わせて、処理業者との調整を行うべきであろう。

#### 6.2.4 山本雅資先生（富山大学 極東地域研究センター 教授）

- 積み替えについては、県や自治体によって許可取得の難しさが異なる面があるが、あきらめるべきではないだろう。ただし、積み替えについては民間がそれに伴うリスクを取れないという問題点もある。IoT を使ってデータを残し、トレーサビリティと適正処理を担保すれば、小ロットを大ロットにして運べるはずである。一方で、重量や見た目に変化するものは管理が難しいので、重量が変わらないものから取り組むことができるのではないか。大型の積み替え保管施設を作ることができれば、大幅に低炭素化ができるはずである。
- 地域内の収集運搬については、自由競争を阻害しない方法をとることが重要である。AI等の先端技術は、企業規模の拡大に不可欠である。例えば、企業規模拡大に伴い収集運搬車両を買い増したくても配車業務の上限に合わせて所有できる車両台数が制限されてしまう可能性がある。
- IoTによって瞬時に廃棄物の追跡ができるならば規制緩和も可能であろう。個社がIoTを活用して完全に情報を押さえたうえでのプラットフォーム化ならば廃棄物処理の再委託禁止に対応できる可能性がある。
- IoT等先端技術の効果として、低炭素化以外に、事実上規制が不要となるというのも重要な効果である。技術が進歩しているにもかかわらず、規制だけが残っているというのは好ましくなく、IoT時代の規制の在り方を考える機会にすべきである。
- 地方では、産業廃棄物処理業の地域経済における役割が大きい。将来の地方産業振興の観点からも生産性向上を図っていく必要があるだろう。

#### 6.2.5 松本亨先生（北九州市立大学 環境生命工学科 教授）

- 低炭素化効果の定量手法は概ね問題はない。
- シナリオ2の焼却施設とメタン発酵発電の振り分けの低炭素化効果の試算では、導入後ケースで焼却炉の発電効率がベースライン（有機系廃棄物が投入されていた場合の発電効率）と同等と仮定しているが、実際には有機系廃棄物の焼却炉への投入量が減り、

相対的にカロリーの高い廃プラスチック等の投入割合が増えるため発電効率が上昇すると考えられ、さらに高い低炭素化効果が得られるだろう。現段階の低炭素化効果の試算は、「最低限見込める低炭素化効果」である。実際の低炭素化効果についてはF Sやモデル事業等で実施したうえで低炭素化効果を改めて試算する必要があるだろう。

- 企業連携による収集運搬の低炭素化効果の試算方法は燃費法を用いているが、今回の試算ではあくまでも前提を置いたうえでの試算であるため、改良トンキロ法により低炭素化効果の試算を行った方が良いと考えられる。

## 7. 産業廃棄物処理分野における先端情報通信技術の活用施策・シナリオと基準案

7章では、5章で検討した方向性を踏まえ、3つの低炭素化の方向性から具体的な施策とシナリオを検討した。

7.1節に3つの施策例とシナリオの概要を示し（表7-1）、7.2節～7.4節に施策ごとの具体的なシナリオの内容（概要、技術、低炭素化効果等）を示した。最後に7.5節では、それ以外の先端技術活用候補として、熱供給への先端技術活用について補足した。

### 7.1 活用施策・シナリオ案

5章では、ヒアリング結果から得られた先端情報通信技術の先行事例と事業者のニーズを踏まえ、施策の方向性を検討した。方向性として「埋め立て量の削減（リサイクルの強化）」「エネルギー回収の強化」「オペレーションの低炭素化（効率化）」が低炭素化に有効であることを示し、具体的には「情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進」「廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化」「収集運搬（廃棄物物流）の効率化」などの取組が考えられることを示した。また、先端情報通信技術を用いたそれぞれの工程の高度化に加え、それぞれの工程高度化をスムーズに進める基盤となる「サプライチェーンの円滑化」を進める先端情報通信技術活用も重要であることを示した。

本章では、それらの方向性を踏まえ、「情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進」「廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化」「収集運搬（廃棄物物流）の効率化」の3つの施策について、具体的なシナリオの検討をおこなう。ただし、「施策1）情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大」は、対象とする物質によりリサイクルの方式が異なることから、建築廃棄物、廃プラスチック、金属を対象としたシナリオごとに具体的な効果等の検討を行った。検討を行った施策、シナリオを表7-1にまとめた。また、検討した施策の産業廃棄物処理におけるカバレッジを図7-1に示した。

表 7-1: 方向性を踏まえた個別シナリオの検討

施策例	シナリオ	定量的検討	報告書の記述箇所
1) 情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進	建設系混合廃棄物の高度分別による廃プラスチック等のリサイクル	○	7.2.2
	未利用廃プラスチックのサーマルリサイクル	○	7.2.3
	非鉄金属の高度選別と再生素材化、金属回収率の増加	—	7.2.4
2) 廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化支援	廃棄物組成に応じたごみ発電施設とメタン発酵施設への振り分け	○	7.3.2
3) 収集運搬（廃棄物物流）の効率化支援	産廃・事業系一廃における複数企業の連携収集	○	7.4.2

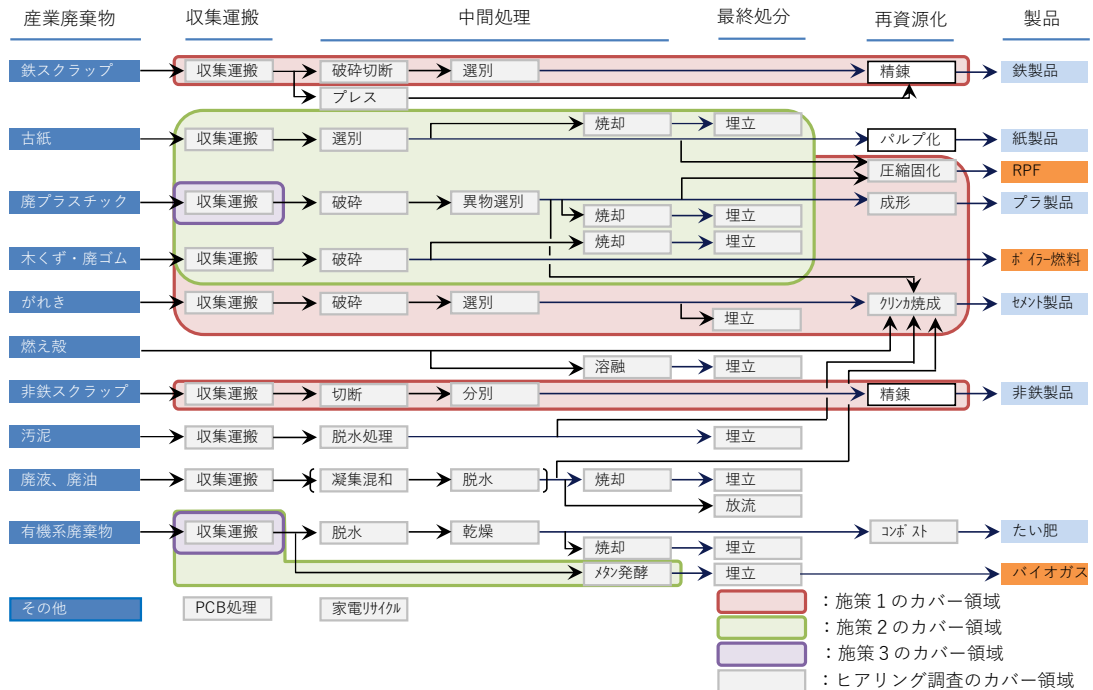


図 7-1: 検討した施策のカバレッジ

## 7.2 施策 1) 情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進

### 7.2.1 概要

廃プラスチック戦略など国内プラスチック処理工程への対応が必要とされる中、上流工程と下流工程の連携を強めるとともに中間処理を高度化して処理量・リサイクル量を増やし、埋め立て量と単純焼却量を削減する。加えて、他の金属などの廃棄物においても再資源化の高度化を促進する。

具体的には、セメント工場、製鉄所、ごみ発電焼却場等での廃棄物受け入れ量の増加が考えられる。資源循環という観点からは非鉄金属やプラスチックの再生素材化における先端技術活用の将来性も大きいと考えられる。

短期的には産業廃棄物処理分野における光学選別機等の高度選別（センサー選別）装置の活用や自動選別ロボットの実用化を推進し、同時に需給マッチングや情報連携等の IT 活用とのシナジーをつくる。中長期的には、センサー技術や分離技術、新しい破碎技術の高度化を進める。

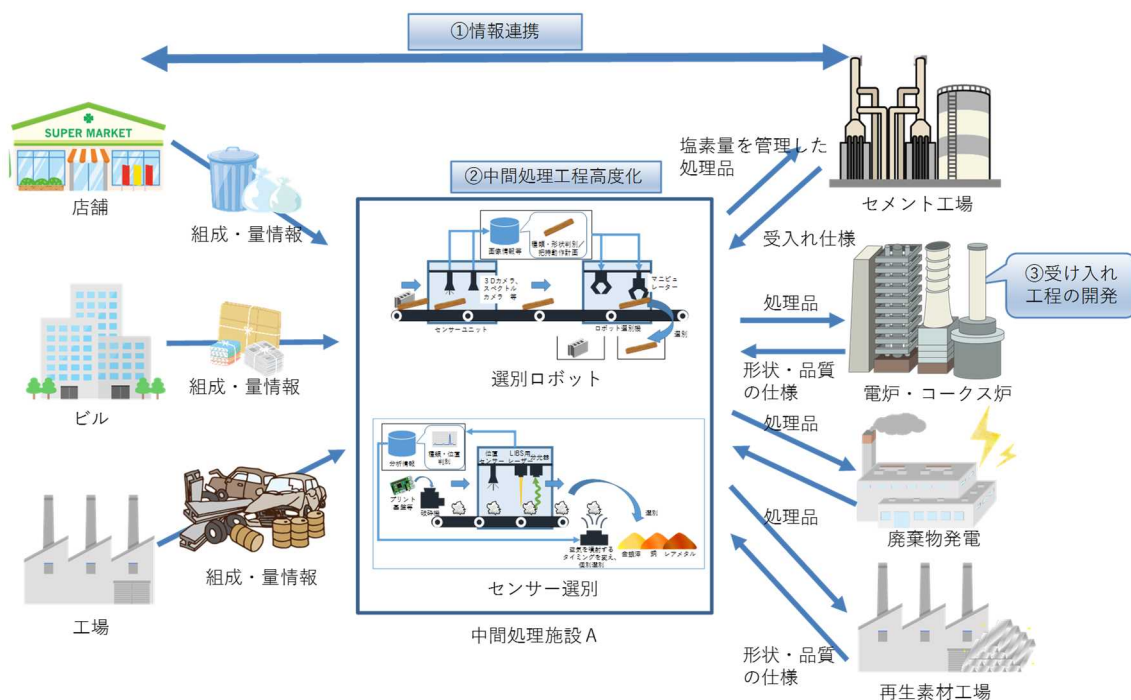


図 7-2: 施策 1 「情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進」の概要

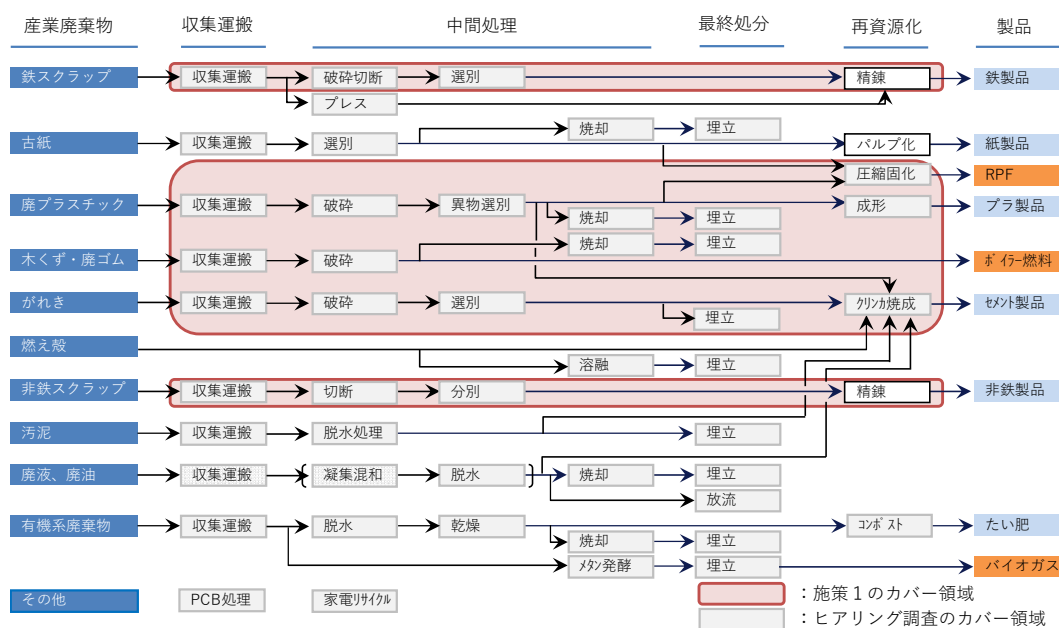


図 7-3: 施策1のカバレッジ

このような中間処理とサーマルリサイクル／再生素材化の連携は多様な物質と業態にわたる。そこで、7.2.2 節～7.2.3 節では、主なシナリオとして、「建設系混合廃棄物の高度分別による廃プラスチック等のリサイクル」「未利用廃プラスチックのサーマルリサイクル」を取り上げ、ユースケースごとに用いられる技術やコスト、効果等を検討した。また、7.2.4 節以降にそれ以外のシナリオ例を示した。

## 7.2.2 シナリオ(1-1)建設系混合廃棄物の高度分別による廃プラスチック等のリサイクル（短期～中期）

### (1) 概要

建設系廃棄物は年間 8,161 万 t 排出され（産業廃棄物の排出及び処理状況等（平成 27 年度実績）、そのうち 10%前後が混合廃棄物であり廃プラスチックを約 10%含んでいる（都内建設業における廃プラスチック類の排出実態について）。

そこで、建設系混合廃棄物の分別工程に AI 搭載自動選別ロボットを導入し、手選別以上の速さと精度で長時間の選別を実現、生産性向上・廃棄物処理量の増大を達成する。また、選別された廃プラスチックや紙くずから RPF を製造し、木くずはチップに加工しバイオマス発電燃料化を行い、リサイクルを推進して埋め立てられていた廃棄物量を大幅に削減する。

持ち込まれる建設系混合廃棄物の発生情報（量、組成）を収集し、それまでの実績から混合廃棄物の組成を推定、後工程と推定排出日時と量を共有し、生産計画を立て、生産効率を向上させる。



## (2) 対象となる技術

- 自動選別ロボットなどのセンサー技術を用いた物理選別機器やロボット  
さらに、廃棄物の発生量や詳しい組成、品質、危険物の有無を把握するという点で、
- 在庫管理システム、生産管理システム、トレーサビリティシステム、コミュニケーションツール
- 排出される廃棄物の品質や量の情報連携システム  
が、有用なケースも考えられる。

## (3) 対象事業者

- 建設系混合廃棄物を扱う中間処理業者

## (4) 導入コスト

### ① イニシャルコスト

- ゼンロボティクスリサイクラーおよび付属設備一式のイニシャルコストは、先行事例 B 社の導入時のシステム全体の価格（前・後工程の設備を含む）を踏まえ、15 億円である。
- （情報連携システムを併せて導入した場合）情報連携システムのイニシャルコストは、IT ベンダーへのヒアリング結果に基づくと数百万円～数千万円程度が見込まれる。（システム使用や提供形態等によって異なる）

### ② ランニングコスト

- ゼンロボティクスリサイクラーの 1 ユニットあたりの電気代は、先行事例 B 社へのヒアリング結果およびゼンロボティクス社カタログから年間 200 万円程度と見込まれる。
- ゼンロボティクスリサイクラーのメンテナンス費用については開発途上であるため不明である。
- ゼンロボティクスリサイクラーの使用料は、1 ユニットあたり 8 ユーロ/時、1 年間で 8 ユーロ/時×18 時間×300 日×125 円/ユーロ=540 万円となる。
- （情報連携システムを併せて導入した場合）情報連携システムのランニングコストは、IT ベンダーへのヒアリング結果から数百万円程度と見込まれる。

## (5) 導入効果

- 期待される低炭素化効果
  - 試算の前提
    - ◇ （導入前）搬入した建設系混合廃棄物を手選別し、木くず、紙くず、廃プラ、廃石膏ボード、ガラスくず、金属くず、その他に分別する。木くずはバイオマス燃料化工程を経て、バイオマス燃料とし利用する。紙くずおよび廃プラスチック

ックは RPF 製造工程を経て、RPF として燃料利用する。

- 建築系混合廃棄物の総受け入れ量は、手作業での分別を行っている中堅以上の中間処理事業者を想定し、先行事例 B 社へのヒアリング結果を基に 1,680 t/年と設定した。
- 建築系混合廃棄物に含まれる木くず、紙くず、廃プラスチック割合は解体廃棄物の組成（関東建設廃棄物協同組合『建設系混合廃棄物の徹底比較』）および先行事例 B 社へのヒアリング結果を基に設定した。

◇（導入後）搬入した建設系混合廃棄物をゼンロボティクスリサイクラーで自動選別し、木くず、紙くず、廃プラ、廃石膏ボード、ガラスくず、金属くず、その他に分別する。木くずはバイオマス燃料化工程を経て、バイオマス燃料として利用する。紙くずおよび廃プラスチックは RPF 製造工程を経て、RPF として燃料利用する。

- 建築系混合廃棄物の総受け入れ量は、自動選別ロボット導入による受け入れ量増加を踏まえ、先行事例 B 社のヒアリング結果を基に 150,000 t/年と設定した。
- 建築系混合廃棄物に含まれる木くず、紙くず、廃プラスチック割合は解体廃棄物の組成（関東建設廃棄物協同組合『建設系混合廃棄物の徹底比較』）および先行事例 B 社へのヒアリング結果を基に設定した。

➤ 低炭素化効果試算

◇ 当社内資料およびヒアリング結果を活用し、「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン（Ver. 1.0）」（平成 28 年 3 月）に則って算定を行った。

➤ 結果

◇ 建設系混合廃棄物 1t あたり 200 kg-CO<sub>2</sub>、1 事業所あたり年間 29,993 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が得られる見込みである。

● 業界全体のポテンシャル

➤ 試算の前提

◇ 建設系混合廃棄物量のうち現在リサイクルされていないものを自動選別し、リサイクル率を向上させる。

- 建設系混合廃棄物量は、年間 8,161 万 t 排出される建設系廃棄物（産業廃棄物の排出及び処理状況等平成 27 年度実績）のうち 9.5%（関東建設廃棄物協同組合『建設系混合廃棄物の徹底比較』）に相当する 775 万 t とした。
- 建設系混合廃棄物のうち現在リサイクルされていない割合は、外部調査結果より 44.7%と設定した。

➤ 計算過程

◇ 建設系混合廃棄物 775 万 t × 44.7% × 自動選別を導入による 1tあたりの低炭素化効果 200 kg-CO<sub>2</sub>

➤ 結果

◇ 69 万 t-CO<sub>2</sub>/年の低炭素化効果が得られる見込みである。

● その他の効果

- 省力化、働き手不足対策
- 静脈産業の生産性の大幅向上

## (6) CO<sub>2</sub>削減コスト

### ① CO<sub>2</sub>削減効果に対するイニシャルコスト

- CO<sub>2</sub>削減に直接的に寄与し、コスト全体に占める割合が大きいことを考慮し、ゼンロボティクスリサイクラーおよび付属設備のコストを想定してCO<sub>2</sub>削減コストを計算した。
- ゼンロボティクスリサイクラーのイニシャルコストは 15 億円である。また、法定耐用年数 7 年である。
- ゼンロボティクスリサイクラーを導入することによる年間の低炭素化効果は 29,993 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1 t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは  
$$15 \text{ 億円} \div (29,993 \text{ t-CO}_2/\text{年} \times 7 \text{ 年}) = 7,144 \text{ 円/t-CO}_2 \text{ となる。}$$

### ② CO<sub>2</sub>削減効果に対するランニングコスト

- イニシャルコストと同様に、ゼンロボティクスリサイクラーのコストを用いてCO<sub>2</sub>削減コストを計算した。
- ゼンロボティクスリサイクラーのランニングコストは 2,240 万円/年と設定した。
- ゼンロボティクスリサイクラーを導入することによる低炭素化効果は 29,993 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1 t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは  
$$2,240 \text{ 万円/年} \div (29,993 \text{ t-CO}_2/\text{年}) = 747 \text{ 円/t-CO}_2 \text{ となる。}$$

## (7) 普及の課題

ロボット技術は現在実証や商用化がはじまったばかりの先端技術である。このため、技術面の成熟度や活用ノウハウ面の検証という点が今後の普及に向けた課題となっている。

まず、ロボットによる自動選別や自動解体はまだ技術的な成熟度が十分ではなく、今後のさらなる研究開発が必要とされている。例えばロボットによる自動選別は、カメラなどのセンサー類による物体の識別と、分離動作の設計、実際の分離動作などの統合となる。現時点では識別精度の制約、選別できる廃棄物の種類や形状の制約、動作スピードの制約などが存在する。特にセンサー選別技術に関して、技術開発に必要なデータを海外のセンサーメーカー

ーが収集（流出）し更なる高度な技術開発に活用している例もあるなど、海外が先行している。

まだ、自動選別ロボットの活用ノウハウが明確でないことから、どの工程のロボット活用が効果的か、ロボットの前工程、後工程がどのような形態であるべきか、などが明らかになっていない面がある。自動選別ロボットは初期投資費用が大きいことから、ノウハウが確立していない点は活用への課題となりうる。

## (8) 社会実装への道筋

ロボットの技術が発展途上でありかつ現場での活用ノウハウが確立していない点を考慮すると、産業廃棄物処理の立場からロボット活用によるリサイクル高度化・低炭素化を進めるためには

- ロボットの活用方法を検討するための実現可能性調査（FS）や実証

の実施が有効と考えられる。また、センサー選別やロボット活用は産業廃棄物処理やリサイクルにとって将来性の大きい今後の期待が高い分野であることから

- 技術完成度を高める研究開発

が重要と考えられる。特に多様な物質が混在する廃棄物分野はロボットにとって難易度の高い分野であり、通常製造業や物流業で活用されているロボットよりもさらにソフトウェア面で高度なレベルが必要とされているのに対し、関連ロボットの市場規模は製造業や物流業より小規模と考えられることから、支援が重要と考えられる。

## (9) 基準案

本シナリオでは、建設系混合廃棄物のリサイクル高度化を目的としている。本シナリオを実現するためのプロジェクトを評価する場合、リサイクル高度化による低炭素化効果を評価することが重要である。ただし、現時点ではロボット技術やその活用方法が発展途上であることも考慮して基準を設定する必要がある。

### 7.2.3 シナリオ(1-2) 未利用廃プラスチックのサーマルリサイクル（短期）

#### (1) 概要

廃プラスチックのうち、単純焼却されている 24 万 t、埋め立てられている 40 万 t（一般社団法人プラスチック循環利用協会プラスチックマテリアルフロー図 2016 年）が未利用である。中国による廃プラスチック輸入規制を背景に、国内の廃プラスチックリサイクルのキャパシティがひっ迫しており、今後はさらに単純焼却または埋め立てられるプラスチック量の増加が見込まれており、これらの未利用のプラスチックの有効活用が喫緊の課題である。

廃プラスチックの処理・リサイクルでは、中間処理事業者毎に工程や設備が異なるため、排出される廃プラスチックの品質（組成・形状等）は事業者毎に異なっており、必ずしも後

工程のごみ発電、セメント工場、製鉄所等の受け入れを前提とした処理・品質の確保が行われているとは限らない。中間処理を高度化し、排出されるプラスチックの品質を向上、安定させることで、後工程での廃プラスチックの有効利用は拡大する余地がある。

廃プラスチックのリサイクルを推進するために、プラスチック受け入れポテンシャルを持つ下流事業者との協議を行った上で、排出するプラスチックの受け入れ品質（排出品質）を決定する。

中間処理工程（排出事業者）は、排出品質を満たす製造設備として、光学選別装置やセンサー選別装置等の高度選別装置や RPF 製造装置の導入を行う。光学選別装置では含塩素廃プラスチックを選択的に除去し、排出物の塩素含有量を低減する。センサー選別装置ではプラスチックの種類によって選別を行い、適切にブレンドし、後工程での受け入れ基準に適合させる。廃棄物ごとに受け入れ先に応じて異なる仕様や生産量の管理（生産計画）の管理を行い、スムーズな受け入れを実現する。必要に応じて工程間で需給マッチングや組成情報、受け入れやすい廃棄物の荷姿などの情報を共有する。

後工程（受け入れ側）のプラスチック受け入れのための技術開発・実用化を進め、受け入れ量の拡大を図る。

通常の廃プラスチック焼却の受け入れ価格が、1 トン 3.5 万円からものによっては 5 万円近くなり、容器包装リサイクルにおけるケミカルリサイクルの価格と同程度となりつつある中で、サーマルリサイクルだけでなく、ケミカルリサイクル等高度リサイクルに回す余地や必要性が増大していると考えられる。

## (2) 対象となる技術

- 光学選別装置などのセンサー技術を用いた物理選別装置
- 排出される廃棄物の品質や量の情報連携システム
  - 発生量、詳しい組成、品質、危険物の有無
  - 在庫管理システム、生産管理システム、トレーサビリティシステム、組成管理システム

## (3) 対象事業者

- 廃プラスチックを扱う中間処理業者

## (4) 導入コスト、経済性

### ①イニシャルコスト

- 光学選別装置および付属設備の初期投資額は、1 時間あたり最大投入量 10 t の光学選別装置の場合、代理店ヒアリング結果から約 1 億 5,000 万円である。
- RPF 製造装置および付属設備の初期投資額は、1 時間あたり 2 t の RPF 製造能力を保有する製造装置の場合、代理店ヒアリング結果から約 2 億円である。

### ②ランニングコスト

- 光学選別装置のランニングコストは、当社導入実績および代理店ヒアリング結果より、250万円程度である。
- RPF 製造装置のランニングコストは、当社導入実績および代理店ヒアリング結果より 150万円程度である。

## (5) 導入効果

- 期待される低炭素化効果
  - 試算の前提
    - ◇ (導入前) 受け入れた廃プラスチックを単純焼却し、焼却灰を埋め立て処分する。
      - 1事業所の廃プラスチックの総受け入れ量は、中規模の中間処理工場を想定し、廃棄物処理事業者 F のヒアリング結果を基に年間 1.8 万 t と設定した。
      - 焼却灰の埋立は、CO<sub>2</sub> 排出量の寄与が極めて小さいためカットオフした。
    - ◇ (導入後) 受け入れた廃プラスチックを高度選別し、RPF として利用可能なものと利用できないものに分けることを仮定した。RPF 利用できるものは RPF 製造を経て RPF として燃料利用を行う。RPF 製造に適さないものについては焼却を行い、焼却灰を埋め立て処分する。
      - 廃プラスチックの総受け入れ量は中規模の中間処理工場を想定し、導入前と受け入れ量は変化しないと仮定し、1.8 万 t/年と設定した。
      - 光学選別装置導入後の選別精度は当社導入実績および光学選別装置を導入している事業者へのヒアリング結果に基づき設定した。
      - 焼却灰の埋立は、CO<sub>2</sub> 排出量の寄与が極めて小さいためカットオフした。
  - 低炭素化効果試算
    - ◇ 当社内資料およびヒアリング結果を活用し、「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン (Ver. 1.0)」(平成 28 年 3 月) に則って算定を行った。
  - 結果
    - ◇ 廃プラスチック 1 t あたり 3,352 kg-CO<sub>2</sub> の削減、中規模の中間処理工場 1 か所あたり 60,340 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が見込まれる。
- 業界全体のポテンシャル
  - 試算の前提
    - ◇ 現在単純焼却されている廃プラスチックを高度選別することで、RPF 燃料としてリサイクルする。
      - 単純焼却されているプラスチック量は、一般社団法人プラスチック循環利用協会『プラスチックマテリアルフロー図 2016 年』から 24 万 t と設定した。

- 計算過程
  - ◇ 単純焼却されているプラスチック量 24 万 t×廃プラスチック 1tあたりの低炭素化効果 3,352 kg-CO<sub>2</sub>
- 結果
  - ◇ 年間 80 万 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が得られる見込みである。

## (6) CO<sub>2</sub> 削減コスト

### ① CO<sub>2</sub> 削減効果に対するイニシャルコスト

- 光学選別装置および RPF 製造装置のイニシャルコストは合計 3 億 5,000 万円である。また、設備の法定耐用年数は 7 年である。
- 設備導入による年間の低炭素化効果は 60,340 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1 t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは
 
$$3 \text{ 億 } 5,000 \text{ 万円} \div (60,340 \text{ t-CO}_2/\text{年} \times 7 \text{ 年}) = 829 \text{ 円/t-CO}_2 \text{ となる。}$$

### ② CO<sub>2</sub> 削減効果に対するランニングコスト

- 光学選別装置および RPF 製造装置のランニングコストは合計 400 万円/年である。
- 年間の低炭素化効果 60,340 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1 t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは
 
$$400 \text{ 万円/年} \div (60,340 \text{ t-CO}_2/\text{年}) = 66 \text{ 円/t-CO}_2 \text{ となる。}$$

## (7) 普及の課題

中間処理の高度化に投資可能なタイミングは、ラインの新設時や大規模な入れ替え時に集中する。ただし、中国による廃棄物受け入れ規制以来、廃棄物の処理費用が高騰していること、これまでどおりの中間処分では焼却の受け入れ先がなくなってきていることを背景に、設備投資をして製品の品質を向上させリサイクルの受け入れ先を確保しようという動きが広まっている。補助金検討の好機とも考えられる。

特に日本国内では過剰ともいえる消費者の製品品質要求があり、ひいては製造業の素材品質への要求レベルが極めて高く、再生素材への品質要求はバージン材のそれと同等レベルであることが多く、現在の分別技術では再生素材原料側で対応するのが難しい面がある。

## (8) 社会実装への道筋

廃プラスチックの品質を高める光学選別機などのセンサー選別機器は、容器包装リサイクル分野では既に普及しているが、産業廃棄物処理分野では普及が限定的であり、特に単純焼却を行っている中規模以下の中間処理業者への普及率は高くない。そこで、

- 光学選別装置などのセンサー選別機器（可視光、近赤外、蛍光 X 線等）に対する導入補助

が有効と考えられる。さらに、その際には、単純な中間処理業者による機器導入だけでなく、後工程の事業者との受け入れに関する枠組み作りやリサイクル率向上に資することの検証

を目的とした実証や実現可能性調査なども有意義と考えられる。

また、廃プラスチックの処理技術向上だけでなく、リサイクルの出口の確保も併せて行うことが大切であり、

- セメント工場や製鉄所などでの新たに廃プラ等を活用するための技術開発事業も上記の選別高度化の有用性を高めると考えられる。

## (9) 基準案

リサイクル率や歩留まり、活用量の向上率、それに伴う低炭素化効果が評価基準として適当である。

### 7.2.4 シナリオ(1-3) 非鉄金属の高度選別と再生素材化、金属回収率の増加 (短期～中期)

#### (1) 概要

廃棄物（非鉄金属）の発生情報（量、組成）とともに収集、また後工程と協議の上必要な品質を明確化し、中間処理の工程や施設を選択して、後工程で利用可能な素材への選別・製造をおこなう。これによって付加価値の高い再生素材化をおこなう。

高度選別装置を活用し、非鉄金属を合金別に極めて高い精度で分類、膨大なエネルギーの掛かる溶解工程をこれまで2度から1度に省略し、低炭素を達成する。

#### (2) 対象となる技術

- LIBS ソーター等センサー選別技術を用いた物理選別機器やロボット

#### (3) 対象事業者、普及ポテンシャル

- 金属スクラップを取り扱う中間処理事業者

#### (4) 導入コスト

##### ①イニシャルコスト

- 現在開発中の技術のため、LIBS ソーターのイニシャルコストは不明である。（開発費用は先行事例 D 社へのヒアリング結果から約 8000 万円である。）

##### ②ランニングコスト

- 現在開発中の技術のため、LIBS ソーターのランニングコストは不明である。

#### (5) 導入効果

- 期待される低炭素化効果
  - （参考値）アルミニウムスクラップの二次合金の溶解工程を 1 回省略することでアルミニウム 1t あたり 0.74t-CO<sub>2</sub> の低炭素化が見込まれる（ただし、重液選別の場合での試算）



- その他の効果
  - 高付加価値化による産業廃棄物処理業の底上げ

## (6) 普及の課題

- LIBS ソーターは開発段階であり、技術の実用化、市販には実用化を待つ必要がある。
- センサー選別の高度化が必要となる。高度選別については、これまでのバルク選別から今後はセンサー選別の重要度が高まる。また、センサー選別の2つの要素（識別、分離）においては、物質の識別に多様な方法（LIBS、近赤外、X線、可視光）が使えるのに対し、今後分離技術（エアークリーン、ロボットアーム、マグネット）の高度化が課題。また、破碎の高度化も必要である。
- 中間処理工程を高度化するにしても、後工程が必要とする品質や組成のものにするのでなければ再生資源の利用拡大が難しく、設備導入効果は限定的である。後工程が必要とする品質や仕様と処理工程のすり合わせが重要で、そのためには工程間、企業間のコミュニケーションや情報連携が必要となる。また、廃棄物の受け入れ仕様や再生素材の品質基準の標準化が必要とされる。

## (7) 社会実装への道筋

- 廃棄物の受け入れ品質や再生素材の品質について、廃棄物種類、素材ごとに標準化を検討する業界団体や政府の検討委員会設置によって議論を進めることが必要である。また、同委員会では、廃棄物処理・リサイクルの社会全体の最適フローや工程間で連携が必要な情報についても議論検討することが望ましい。
- センサー選別やロボット活用は今後の期待が高い分野であるが、多様な物質が混在する廃棄物分野では今よりさらに高いレベルが必要とされているため、技術完成度を高める研究開発や導入補助が必要である。

## (8) 基準案

リサイクル率や歩留まり、活用量の向上率。それに伴う低炭素化効果が基準として適当と考えられる。

### 7.2.5 その他シナリオ例：ASR(Automobile Shredder Residue)のリサイクル高度化、金属回収（短期～中期）

処理される自動車の車種および使われている材料等の情報を踏まえてASR（一部SR）に含まれる金属量を推測、金属の含有量の高い廃棄物を集め、高度選別（比重選別、センサー選別等）を用いて効率的に金属の回収を行う。また、車種情報から推定することで、ASRへのCFRPの混入の危険度を把握・コントロールすることで品質を管理し、セメント製造等への受け入れ拡大を図る。また、CFRPの混入危険度の高いものについては、CFRPの除去手法の確立やCFRPの混入が問題とならない用途の開拓を進めていく。

### 7.3 施策 2) 廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化支援

#### 7.3.1 概要

廃棄物処理技術が高度化し、これまでの焼却炉による処理・発電よりエネルギー効率の高い廃棄物処理・リサイクルが出現している。しかし、実際にはそれまでの処理方法が踏襲され焼却処理される、禁忌物が搬入されるなど、適切な廃棄物処理・リサイクルの方法の選択が行われていない。IoT・AI等先端技術を活用することで、適切な処理・リサイクル方法の選択を促し、システム全体での効率化を図る。

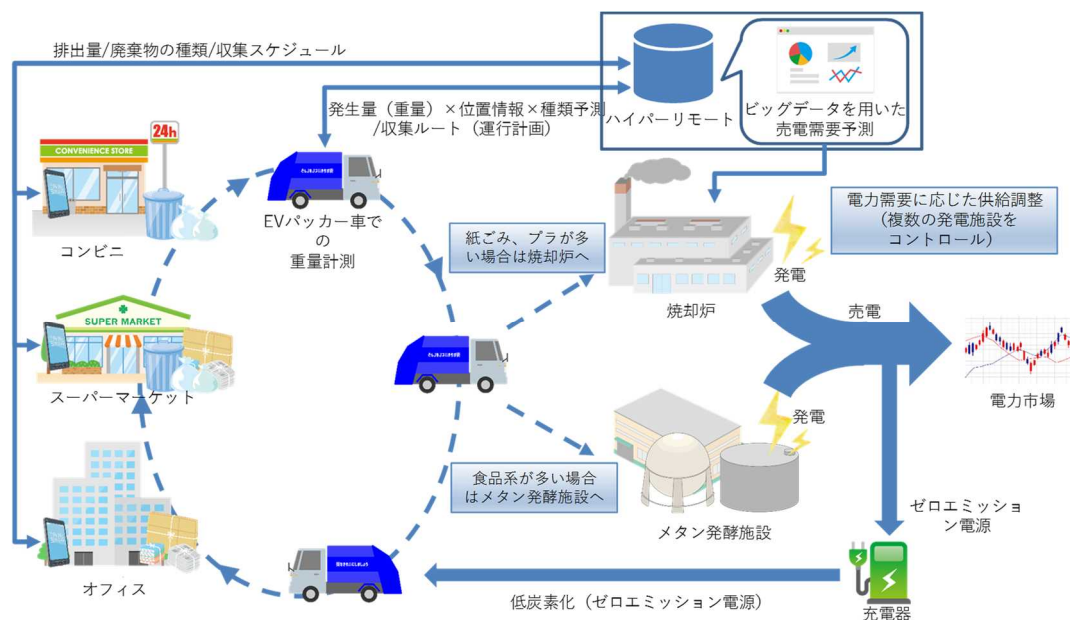


図 7-4: 施策 2 「廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化支援」の概要

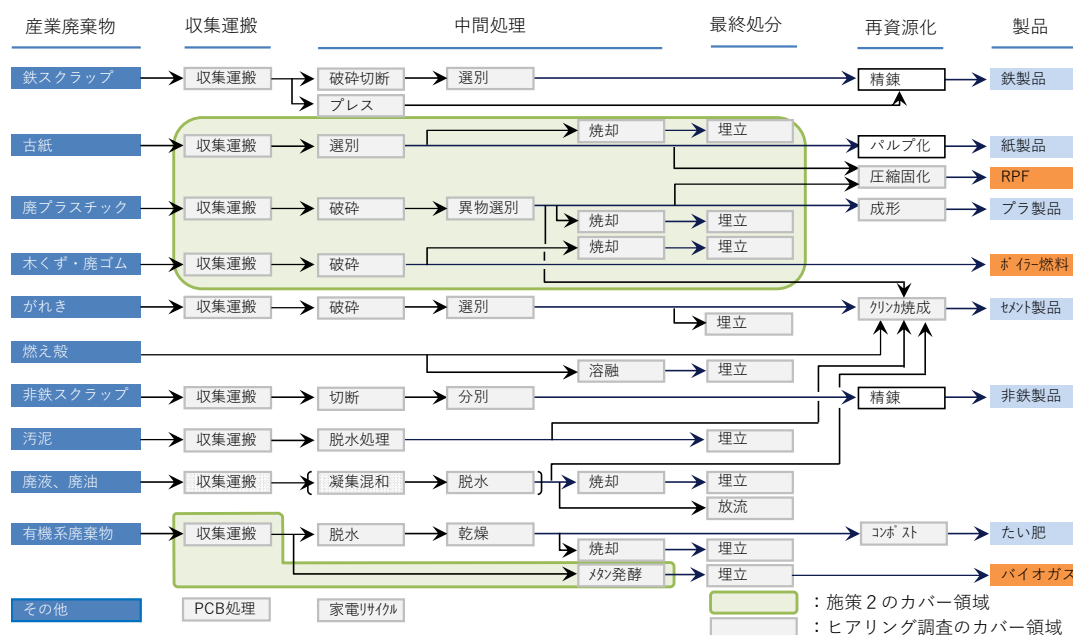


図 7-5: 施策 2 のカバレッジ

### 7.3.2 シナリオ 廃棄物組成に応じたごみ発電施設とメタン発酵施設への振り分け(短期～中期)

#### (1) 概要

これまで焼却処分されていた産業廃棄物および事業系一般廃棄物から、食品ロスを中心とした有機系廃棄物を選択的にエネルギー利用効率が高いメタン発酵施設で処理し、低炭素化を達成する。また、焼却炉への搬入量が減少した分は、廃プラスチック等の搬入量を増やし、焼却炉の処理能力を有効活用する。

通常焼却される雑多な産業廃棄物や事業系一般廃棄物に対して、排出される廃棄物に占める有機系廃棄物（食品ロス等）の含有量情報を収集・情報連携し、組成によってごみ発電焼却施設向けやメタン発酵施設向けなど処理施設を選択して搬入処理を行う。

これによって食品ロス等の有機系廃棄物をより効率的にメタン発酵施設に搬入してリサイクル量を増やすとともに、残渣発生量を減らすことができる。一方、ごみ発電焼却施設に搬入される廃棄物はプラスチック中心となり残渣の焼却量も削減できる。結果、メタン発酵施設でのリサイクル量の増加や発電の効率向上、ごみ発電焼却施設での発電の効率化や助燃剤使用の削減による低炭素化が期待できる。

#### (2) 対象となる技術

廃棄物組成に基づく振り分けの実現方法はいくつか考えられる。まず廃棄物を収集するパッカー車に計測機能を付加する方法である。それ以外にも、パッカー車の荷台を区分す

る方法、積み替え保管施設を活用する方法などが考えられる。

パッカー車での計測機能を用いる方法を想定すると、先端技術活用に必要な要素技術は次のとおりである：

- パッカー車に付属する計量システム
  - 廃棄物の実際の収集量を測定するセンサー
- 廃棄物の組成測定技術
  - 排出された廃棄物の組成や含水率、みかけ比重等を測定し、実態を把握するとともにデータを蓄積。振り分け精度の向上に活用する。
- 排出される廃棄物の種別や量の情報連携システム
  - 取得した発生量、廃棄物の種別等の情報を管理する。
- ビッグデータを活用した廃棄物の推定、配車システム
  - 契約情報、過去の搬入内容等から廃棄物量を推定または予測をおこなう。
  - 搬入先の違いを考慮し収集ルートを作成する高度配車システム

積み替え保管施設を活用する方法を想定すると先端技術活用に必要な要素技術は次のとおりである：

- 有機系廃棄物とその他廃プラスチック等廃棄物の選別設備。
  - 混合廃棄物から有機系廃棄物を選別する。
  - メタン発酵不適合物の混入を防止する。
- 廃棄物の組成測定技術排出された廃棄物の組成や含水率等を測定し、実態を把握するとともにデータを蓄積。振り分け精度の向上に活用する。排出される廃棄物の種別や量の情報連携システム
  - 取得した発生量、廃棄物の種別等の情報を管理する。
- ビッグデータを活用した廃棄物の推定、配車システム
  - 契約情報、過去の搬入内容等から廃棄物量を推定または予測をおこなう。
  - 搬入先の違いを考慮し収集ルートを作成する高度配車システム

### (3) 対象事業者

- メタン発酵施設およびごみ焼却発電施設を持つ事業者

### (4) 導入コスト

- パッカー車での計測機能を用いる方法

#### ①イニシャルコスト

- ◇ 後付けパッカー車計量器のイニシャルコストは代理店ヒアリング結果から 85 万円/台、100 台のパッカー車に搭載する場合 85 万円×100 台=8,500 万円である。
- ◇ IT システム全体のイニシャルコストは自社保有システムをゼロから構築する

場合、ヒアリングを行った IT ベンダーの実績値から数百万～数千万円程度と想定される（ただし、システムの仕様や提供形態によって異なる。）

②ランニングコスト

◇ IT システム全体のランニングコストは IT ベンダー等へのヒアリング結果から数百万円程度と見込まれる。（ただし、システムの提供形態によって異なる。）

● 積み替え保管施設を活用する方法

①イニシャルコスト

◇ 有機系廃棄物類と廃プラスチックの選別設備を想定すると、メタン発酵施設向け異物分別装置のイニシャルコストは当社導入実績から 6 億円程度が見込まれる。

◇ IT システム全体のイニシャルコストは、自社保有システムの場合 IT ベンダー等へのヒアリング結果から数千万円程度と見込まれる。（ただし、システムの仕様や提供形態によって異なる）

②ランニングコスト

◇ 有機系廃棄物類と廃プラスチックの選別設備のランニングコストは当社内導入実績に基づく推計から約 600 万円である。

◇ IT システム全体のランニングコストはヒアリングを行った IT ベンダー等の実績値から数百万円程度と見込まれる。（ただし、システムの提供形態によって異なる。）

(5) 導入効果

● 期待される低炭素化効果

➤ 一例として廃棄物を収集するパッカー車に計測機能を付加する方法を想定して低炭素化効果を試算した。

➤ 試算の前提

◇ （導入前）産業廃棄物・事業系一般廃棄物の全量を焼却し、発電する。焼却灰は埋立処分を行う。

● 焼却炉は 220 t/日炉を想定し、搬入実績等は当社内資料を基に設定した。

● 焼却灰の埋立は、CO2 排出量の寄与が極めて小さいためカットオフした。

◇ （導入後）産業廃棄物・事業系一般廃棄物のうち、有機系廃棄物の割合が多いものはメタン発酵施設へ搬入し、メタン発酵によってメタンガスを製造、発電を行う。メタン発酵に伴って発生する脱離水は生物処理を経て下水放流を行い、汚泥は埋立処分を行う。それ以外の廃棄物（プラスチック類、紙類、その他可燃物）はこれまで通り焼却し、発電を行う。焼却灰は埋立処分を行う。

● 焼却炉は 220 t/日炉を想定し、搬入実績等は当社内資料を基に設定した。

● メタン発酵発電施設は 40 t/日炉を想定し、搬入実績等は当社内資料を基

に設定した。

- 廃棄物の振り分けはパッカー車での計測機能を用いる方法を想定した。
- 産業廃棄物・事業系一般廃棄物の焼却炉およびメタン発酵施設への振り分け量は「平成 26 年度廃棄物系バイオマス利活用導入促進事業委託業務報告書」より比率を引用した。焼却灰の埋立は、CO<sub>2</sub> 排出量の寄与が極めて小さいためカットオフした。
- 脱離水の処理および汚泥の埋立は CO<sub>2</sub> 排出量の寄与が極めて小さいためカットオフした。

➤ 低炭素化効果試算

◇ 当社内資料およびヒアリング結果を活用し、「循環資源のリサイクル及び低炭素化に関する効果算出ガイドライン (Ver. 1.0)」(平成 28 年 3 月) に則って算定を行った。

➤ 結果

◇ 廃棄物 1t あたり 32 kg-CO<sub>2</sub>、1 取組あたり 2,136 t-CO<sub>2</sub>/年の低炭素化効果が見込まれる。

● 業界全体のポテンシャル

➤ 試算の前提

◇ メタン発酵施設とごみ焼却発電施設をもちの振り分けが可能な事業者が同様の取組を行う。

- メタン発酵施設とごみ焼却発電施設を持つ事業者は環境省『全国のメタンガス化施設リスト』から 7 社と設定した。

➤ 計算過程

◇ 両設備を持っている事業者 7 社×1 取組における低炭素化効果 2,136 t-CO<sub>2</sub>/年

➤ 結果

◇ 年間 1.5 万 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が見込まれる。

## (6) CO<sub>2</sub> 削減コスト

### ① CO<sub>2</sub> 削減効果に対するイニシャルコスト

- パッカー車での計測機能を用いる方法を想定して試算を行う。
- 後付けパッカー車計量器のイニシャルコストは 8,500 万円である。また、設備の法定耐用年数は 7 年である。
- ヒアリングを行った IT ベンダーの類似システムにおける実績値に基づき IT システムのイニシャルコストを 3,000 万円と設定した。またシステムの法定耐用年数は 5 年である。
- 設備導入による年間の低炭素化効果は 2,136 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは

$8,500 \text{ 万円} \div (2,136 \text{ t-CO}_2/\text{年} \times 7 \text{ 年}) + 3,000 \text{ 万円} \div (2,136 \text{ t-CO}_2/\text{年} \times 5 \text{ 年}) = 8,494 \text{ 円/t-CO}_2$  となる。

## ② CO2削減効果に対するランニングコスト

- パッカー車での計測機能を用いる方法を想定して試算を行う。
- ITシステムのランニングコストは数百万円と見込まれており、ヒアリングを行ったITベンダーの実績値に基づき、200万円/年と仮定する。
- 年間の低炭素化効果は2,136 t-CO<sub>2</sub>/年である。
- 1tのCO<sub>2</sub>を削減するために必要なコストは  
 $200 \text{ 万円/年} \div (2,136 \text{ t-CO}_2/\text{年}) = 936 \text{ 円/t-CO}_2$  となる。

## (7) 普及の課題

本シナリオは排出事業者、収集運搬事業者、中間処理事業者などの広範なステークホルダーがかかわることから、広範な領域における高度な収集体制、企業間連携体制を確立する必要がある。

また、経済性や低炭素化効果は、確保できる廃棄物の組成や排出時期・場所などに依存すると予想されることから、適切なフィールドの選択が必要と考えられる。具体的には、廃棄物の処理コストは地域によって異なっており、メタン発酵施設での処理との相対的な優位性も異なるため、振り分けの進めやすさが地域によって異なっている。

さらに、焼却炉の受け入れ可能量は、廃棄物の処理量（重量）だけでなく廃棄物の熱量によっても決まっている。今後焼却炉での廃プラスチック処理の効率化を進めていく上では、整備する焼却炉が高カロリーな廃棄物に対応できる仕様であることも重要である。

## (8) 社会実装への道筋

普及への課題を踏まえると、本シナリオを実現するためには、まず実施体制構築に向け、

- 連携の仕組みや体制づくりを目的とする実現可能性調査（FS）が必要と考えられる。また、経済性や低炭素化効果がフィールドによって異なる点を検証するために、
- 実際のフィールドで低炭素化効果や経済性を検証するための実証事業も有効と考えられる。

## (9) 基準案

エネルギー回収の向上率、収集運搬ルートの短縮距離、低炭素化効果が基準として適切と考えられる。

## 7.4 施策3) 収集運搬（廃棄物物流）の効率化支援

### 7.4.1 概要

中国による廃棄物受け入れ規制で廃棄物の処理費用がかさむ中、処理費用の50%を占める収集運搬費用を低減する必要がある。これまでの個社同士の契約に基づく産廃、事業系一廃のエリア内の収集運搬は、ルートの重複等も多く、効率化（距離の低減や車両台数の削減）による低炭素化を進める余地が大きい。

そこで複数事業者で連携してエリア内の産業廃棄物・事業系一般廃棄物の共同収集を行い、収集効率を向上させ低炭素化を進めるとともに、車両台数の削減や収集距離の低減を通じて収集運搬費用を低減する。

エリア内の収集運搬を効率化するうえで、ごみの受付システムや自動配車システムを用い、廃棄物情報や配車情報により複数事業者が連携するなどの体制を整えて収集運搬を効率化する。

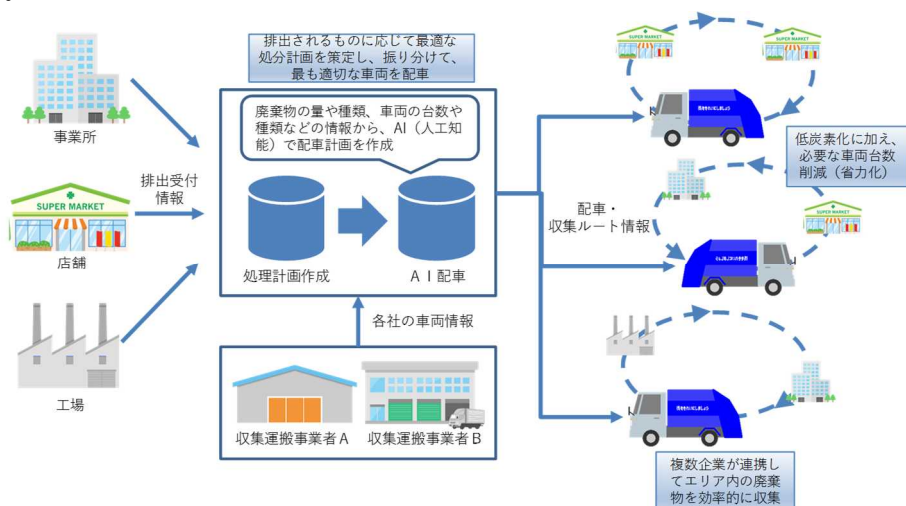


図 7-6: 施策 3「収集運搬（廃棄物物流）の効率化支援」の概要



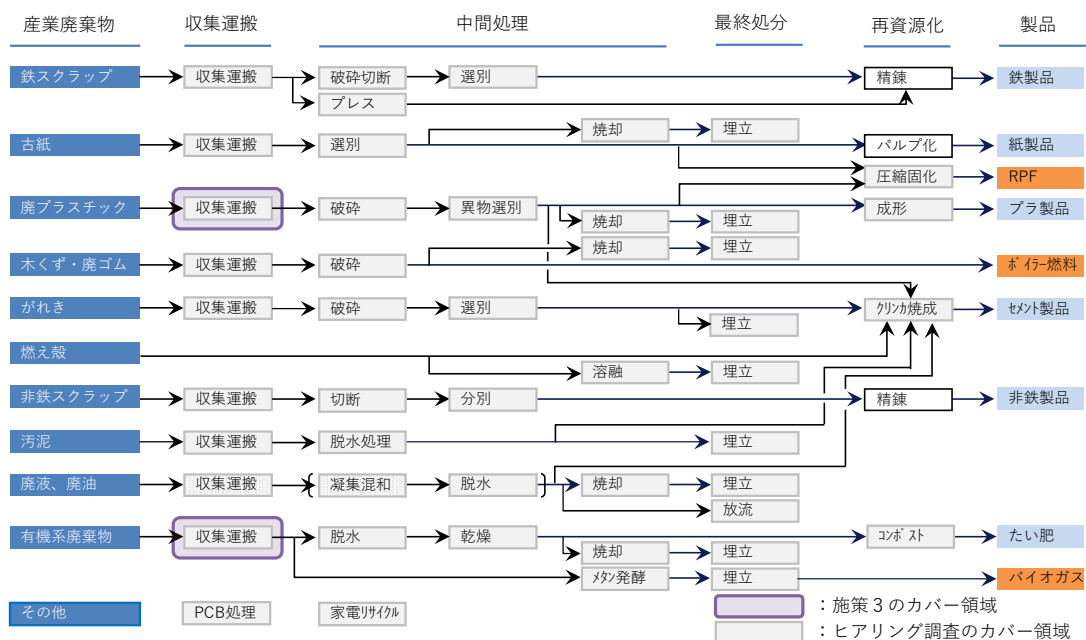


図 7-7: 施策 3 のカバレッジ

#### 7.4.2 シナリオ 産廃・事業系一廃における複数企業の連携収集（短期）

##### (1) 概要

複数事業者での産業廃棄物・事業系一般廃棄物の共同収集に向け、排出されるものに応じて最適な処分計画を策定し、振り分けて、最も適切な車両を配車するシステムを構築する。AI 配車システムを用いて受け付けた案件情報を基に配車を行い、各社で連携収集を行う。

- 参考例) 動脈物流事業者では、共同物流やミルクランの取組の IoT 化が進んでいる。

##### (2) 対象となる技術

- AI 配車システム（人工知能、遺伝的アルゴリズム）
  - 収集運搬においては、廃棄物の種類別の配車や収集ルートでの細かい対応が求められるため、通常の物流よりも作りこんだ配車システムが必要となる。
- 廃棄物の種類によって最適な収集運搬方法を計画する廃棄物受付・最適処理計画システム（ごみ受付システム。ビッグデータ解析、人工知能）
  - 受け付けた廃棄物収集案件について、排出されるものに応じて最適な処分計画を策定し、振り分けて、最も適切な車両を配車。
- リアルタイムのごみ量情報を収集する IoT システム
  - 超音波センサーやカメラによりゴミ箱にたまっているごみの量を判別するとともに広域通信網を用いて情報を送信。

### (3) 対象事業者

- 産業廃棄物・事業系一般廃棄物の収集運搬業者

### (4) 導入コスト

#### ①イニシャルコスト

- ◇ AI 配車システムのイニシャルコストは、システムの処理能力、システムの構成、AI の作り込みレベル等によっても大きく異なるが、先行事例 A 社のヒアリング結果および AI システムを提供する IT ベンダーへのヒアリングに基づく実績値を踏まえると、ある程度のプロジェクトを想定した場合に数千万円程度と想定される。
- ◇ ごみ回収依頼受付システムのイニシャルコストは、処理する件数、システムの構成や機能によっても大きく異なるが、同様のシステムをゼロから構築する場合、ヒアリングを行った IT ベンダーの実績値から数千万円程度と想定される。

#### ②ランニングコスト

- ◇ AI 配車システムのランニングコストはヒアリングを行った IT ベンダーの実績値から数百万円程度が見込まれる。(ただし、システムの提供形態等によって異なる。)
- ◇ ごみ回収依頼受付システムのランニングコストはヒアリングを行った IT ベンダーの実績値から数百万円程度が見込まれる。(ただし、システムの提供形態等によって異なる。)

#### ③経済性

- ◇ コストを 10%削減、5%の増益（ヒアリング実績値）

### (5) 導入効果

- 期待される低炭素化効果

#### ➤ 試算の前提

- ◇ （導入前）個社が産業廃棄物・事業系一般廃棄物の収集運搬を行う。
  - 東京 23 区における収集運搬車両はヒアリング結果および『東京都「持続可能な資源利用」に向けたモデル事業環境負荷低減と経済性向上のため IT を駆使した次世代型廃棄物資源流網の構築』から 3000 台/日と設定した。
  - 東京都における収集運搬量はヒアリング結果および東京二十三区清掃一部事務組合「清掃事業年報平成 27 年度事業実績」から年間 144 万 t と設定した。
- ◇ （導入後）複数の収集運搬事業者が AI 配車システムを活用した合理的なルー

ト決定を行った上で、各収集運搬事業者が配車計画に従って収集運搬を行う。

- 東京 23 区における収集運搬車両はヒアリング結果および『東京都「持続可能な資源利用」に向けたモデル事業環境負荷低減と経済性向上のため IT を駆使した次世代型廃棄物資源流網の構築』から 3000 台/日と設定。
- 東京 23 区における収集運搬量はヒアリング結果および東京二十三区清掃一部事務組合「清掃事業年報平成 27 年度事業実績」から年間 144 万 t と設定した。
- 連携収集及び AI 配車システムを導入したことによる収集運搬の効率化効果はベースラインから 15%削減（ヒアリング実績）と設定した。

➤ 低炭素化効果試算

◇ ヒアリング結果および『東京都「持続可能な資源利用」に向けたモデル事業環境負荷低減と経済性向上のため IT を駆使した次世代型廃棄物資源流網の構築』を基に経済産業省・国土交通省『物流分野の CO2 排出量に関する算定方法ガイドライン』に則ってトンキロ法による算定を改めて行った。

➤ 結果

◇ 廃棄物 1 t あたり 3.9 kg-CO<sub>2</sub>、東京 23 区で 5,616 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が見込まれる。

● 業界全体のポテンシャル

➤ 試算の前提

◇ 東京 23 区と同程度の効率化が、全国の産業廃棄物・事業系一般廃棄物の収集運搬でも可能と仮定した。

- 全国での事業系一般廃棄物の収集運搬量は一般廃棄物の排出及び処理状況等（平成 28 年度）から 1,299 万 t/年と設定した。

➤ 計算過程

◇  $5,616 \text{ t-CO}_2 \div 144 \text{ 万 t} \times 1,299 \text{ 万 t}$

➤ 結果

◇ 年間 5 万 t-CO<sub>2</sub> の低炭素化効果が見込まれる。

● その他の効果

- 車両台数の削減（東京 23 区で 450 台を削減可能）
- 全国の産業廃棄物物流コスト削減で 3,800 億円（全体の 10%）のコストを合理的に削減（利益は 5%増加）。

## (6) CO<sub>2</sub> 削減コスト

### ① CO<sub>2</sub> 削減効果に対するイニシャルコスト

- AI 配車システムとごみ回収依頼受付システムのイニシャルコストを、ヒアリングを行った IT ベンダーの実績値に基づき、各 3,000 万円と仮定すると合計 6,000 万円である。また、システムの法定耐用年数は 5 年である。

- 1取組による年間の低炭素化効果は 5,616 t-CO<sub>2</sub>/年
- 1t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは  

$$6,000 \text{ 万円} \div (5,616 \text{ t-CO}_2/\text{年} \times 5 \text{ 年}) = 2,137 \text{ 円/ t-CO}_2 \text{ となる。}$$

## ② CO<sub>2</sub>削減効果に対するランニングコスト

- AI 配車システムとごみ回収依頼受付システムのランニングコストは、各々数百万円/年と見込まれており、ヒアリングを行った IT ベンダーの実績値に基づき各 200 万円/年と仮定すると、合計 400 万円/年である。
- 年間の低炭素化効果は 5,616 t-CO<sub>2</sub>/年である
- 1t の CO<sub>2</sub> を削減するために必要なコストは  

$$400 \text{ 万円/年} \div 5,616 \text{ t-CO}_2/\text{年} = 712 \text{ 円/ t-CO}_2 \text{ となる。}$$

## (7) 普及の課題

連携収集が効果を生むためには、10 社程度以上の企業による連携が必要との意見がある。複数事業者を取りまとめる仕組みは、取りまとめ役が明確でない産業廃棄物領域では難しい面がある。AI などの先端情報技術を活用した合理的かつ客観的な計画策定の納得感により、協力体制を構築していく必要がある。

産業廃棄物と事業系一般廃棄物のどちらで連携収集のニーズが高いか、個別ケースごとに異なると考えられる。

自由競争を阻害しない制度設計が必要である。

## (8) 社会実装への道筋

複数の事業者による地域効率連携収集体制の枠組みの構築は、個社ではできないことから、体制構築を見据えた実現可能性調査または実際にごみ受付システムを構築するなどの実証が有効と考えられる。

## (9) 基準案

収集ルート of 短縮距離、積載率の向上率、車両台数の削減による低炭素化効果が基準案として適当と考えられる。

## 7.5 その他の先端技術活用施策

7.2 節～7.4 節でとりあげた 3 つのシナリオ案以外にも、基本的な方向性が同じ先端技術を用いた低炭素化方法や基盤整備の取組が考えられる。ここでは、エネルギー回収の一例として、熱供給への先端情報通信技術活用についてとりあげる。

### ● 熱供給を考慮したエネルギー回収・熱回収

廃棄物からのエネルギー回収として複数の方法を比較すると、近接工場への熱供給もエネルギー効率が優れた有力な選択肢となりうるが、熱の需要量と供給量のマッチングが必

要となる。そこで廃棄物の組成情報や排出情報を排出事業者と処理事業者の間で連携し、エネルギー需要と供給のマッチングや廃棄物投入の平準化に活用する。これによって熱供給の価値が高まることが期待できる。

具体的には、廃棄物の焼却施設を熱需要がある工場の近隣に設置、廃棄物の搬入状況と近隣工場における熱の需要情報を踏まえて焼却量を決定する需要考慮型の熱供給を近隣工場に対して提供するシナリオが考えられる。熱供給は障害物がない場合数 km 圏内であれば十分に経済合理性がある。対象となる先端情報技術は、熱需要と熱供給のマッチングシステムや、廃棄物の組成から熱供給量の予測と焼却の平準化をするシステムである。

課題として、工場近くに焼却施設を設置するポテンシャルは全国的に存在するものの、工業地域にごみ焼却施設を設置するのが難しい場合があることがあげられる。このため、処理事業者と近隣工場で社会実装に向けた事前検討が必要である。そこで、先端情報技術を用いて廃棄物発電を持つ事業者と排出事業者、収集運搬事業者の情報連携やデータ収集、プラン検討をおこなう FS が必要と考えられる。

## 8. 施策の方向性まとめ

8章では、ここまで検討した施策の方向性や実現に向けた課題、低炭素化効果等の調査結果をとりまとめた。

本調査では、産業廃棄物処理業における先端的な情報通信技術等の活用状況や当該技術の活用による温室効果ガスの排出削減効果等を調査するとともに、廃棄物処理・リサイクルシステムの低炭素化及び生産性向上に資する施策の検討及び具体的なシナリオの抽出を行った。

産業廃棄物処理業において活用や開発が始まっており事業者の関心も高い先端技術例として、自動選別ロボット、高度センサー選別機器、収集運搬のAI配車、廃棄物の排出量センシング、工場や現場の可視化・自動化、廃棄物版プラットフォーム、工程間情報連携等をあげることができる。

廃棄物処理・リサイクルシステムの低炭素化には「埋め立て量の削減（リサイクルの高度化）」「エネルギー回収の強化」「オペレーションの低炭素化」等が考えられる。上記の先端情報通信技術の動向を加味すると、具体的な施策例として、自動選別ロボットや高度センサー選別機器を用いた「情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進」、廃棄物の排出量センシングや工程間情報連携等を用いる「廃棄物の適切な処理方法選択高度化によるエネルギー回収の高度化」、AI配車技術等を用いる「収集運搬（廃棄物物流）の効率化」などが考えられる。

また、7章に示した通り、本調査で検討したシナリオの推進や実施により大幅な温室効果ガス削減が期待できる。

以上を踏まえ、ここまで検討した施策の方向性や実現に向けた課題について、表 8-1 にまとめた。

表 8-1: 施策の方向性まとめ

施策 (例)	シナリオ (例)	課題	手法				低炭素化 (kgCO2/t)
			補助	実証	FS	その他	
1) 情報連携と中間処理高度化による適正処理・リサイクル拡大の推進	建設系混合廃棄物の高度分別による廃プラスチック等のリサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 自動選別ロボットの技術面の成熟度を高める技術開発</li> <li>● 自動選別ロボット活用のノウハウ蓄積</li> </ul>	—	○	○	研究開発支援等	200
	未利用廃プラスチックのサーマルリサイクル	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 投資可能なタイミングがラインの新設時や入れ替え時に限定されている中での普及加速</li> <li>● 再生素材品質への要求レベルが極めて高い</li> <li>● 工程間、企業間のコミュニケーションや情報連携、品質基準の標準化</li> </ul>	○	○	○	研究開発、標準化支援等	3,352
	非鉄金属の高度選別と再生素材化、金属回収率の増加	<ul style="list-style-type: none"> <li>● センサー選別の高度化</li> <li>● 工程間、企業間のコミュニケーションや情報連携、品質基準の標準化</li> </ul>	○	—	—	研究開発、標準化支援等	(参考値) 740
2) 廃棄物の適切な処理方法選択によるエネルギー回収の高度化支援	廃棄物組成に応じたごみ発電施設とメタン発酵施設への振り分け	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 幅広い工程間にまたがる高度な収集体制や企業間連携体制の確立</li> <li>● 経済性や低炭素化効果が確保できる適切なフィールドの確保</li> <li>● 高カロリーな廃棄物に対応できる焼却炉整備</li> </ul>	—	○	○	—	32
3) 収集運搬 (廃棄物物流) の効率化支援	産廃・事業系一廃における複数企業の連携収集	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 複数企業による協力体制の構築</li> <li>● ニーズの高い連携収集の具体化</li> <li>● 自由競争を阻害しない制度設計</li> </ul>	—	○	○	—	3.9

リサイクル適性の表示：印刷用の紙にリサイクルできます

この印刷物は、グリーン購入法に基づく基本方針における「印刷」に係る判断の基準にしたがい、印刷用の紙へのリサイクルに適した材料〔Aランク〕のみを用いて作製しています。