

データサイエンスを活用した
産業廃棄物処理選別作業における安全性・労働生産性向上

実施報告書

令和6年3月
サイ클ーズ株式会社

目次

1.事業の概要

1-1.事業の背景と目的

1-2.概要

1-3.本事業の実施体制

2.土間選別の現状と問題

3.現状の土間選別のデータ解析

3-1.背景と目的

3-2.実施方法

3-3.実施結果

3-4.考察と課題

4.連続自動開梱機

4-1.自動破袋機

4-1-1.背景と目的

4-1-2.実施方法

4-1-3.実施結果

4-1-4.考察と課題

4-2.自動展開機

4-2-1.背景と目的

4-2-2.実施方法

4-2-3.実施結果

4-2-4.考察と課題

5.最後に

5-1.まとめ

5-2.今後の展望

1.事業の概要

1-1事業の背景と目的

大量生産・大量消費・大量廃棄の時代が終わり、サーキュラーエコノミーへの移行が求められている。各産業廃棄物処理業者も高度選別の目標を掲げ、様々な取組を行っている。産業廃棄物処理の流れは大きく、排出事業者による「排出」、収集運搬業者による「収集・運搬」、中間処理業者による「中間処理」、最終処分業者による「最終処分」に分かれる。

中間処理業者の廃棄物処理の現場では、日々、複数の種類の廃棄物が様々な形状、状態で搬入される。搬入と同時に検査・計量が行われ、その後選別や破碎などの処理工程に移るが、処理工程の中には、異物・発火物混入防止のため、一つ一つ人力で開梱し展開検査を行う「土間選別」がある。通常、土間選別後の処理工程に破碎工程があるが、破碎後にはモノのサイズが細くなるため高精度の分別が難しくなる。よって、最終的なリサイクル率向上のためには、事前の土間選別において異物をできる限り取り除くことが重要であることから、本事業では中間処理施設における土間選別の改善に焦点を当てる。

リサイクル率向上のため、現場では勘/コツ/経験による改善活動が行われることが多い。こうした取り組みは、現実的で効果が期待できる一方、作業員個人の能力に依存すること、現場の課題が時期や業務のフェーズによって変化するため、汎用性や継続性があまり高くない対策となってしまう場合も多い。これを解決するには、データに基づく客観的な検証/判断が必要である。また、土間選別のような人力の作業では、作業環境の制約などから無理な体勢での作業や危険を伴う作業を強いられることも多い。作業の機械化など作業員が本来の作業に集中できる環境を整備することにより、事故の抑制に資するだけでなく、作業の精度向上による処理後物の品質向上も期待できる。

よって、データに基づく改善と、人力から機械へ作業を転換する必要がある。本事業ではこのような背景から、データサイエンスの活用、連続自動開梱機の開発、導入を通してリサイクル率の向上を目指す。そして、各中間処理事業者が掲げている処理目標の達成を目指す。

1-2.概要

本事業は、サイ클ーズ株式会社（以下「サイ클ーズ」）が、産業廃棄物処理業者である高俊興業株式会社（以下「高俊興業」）、東港金属株式会社（以下「東港金属」）にて①現状の土間選別のデータ解析、②土間選別作業革新設備の実証実験を行った。

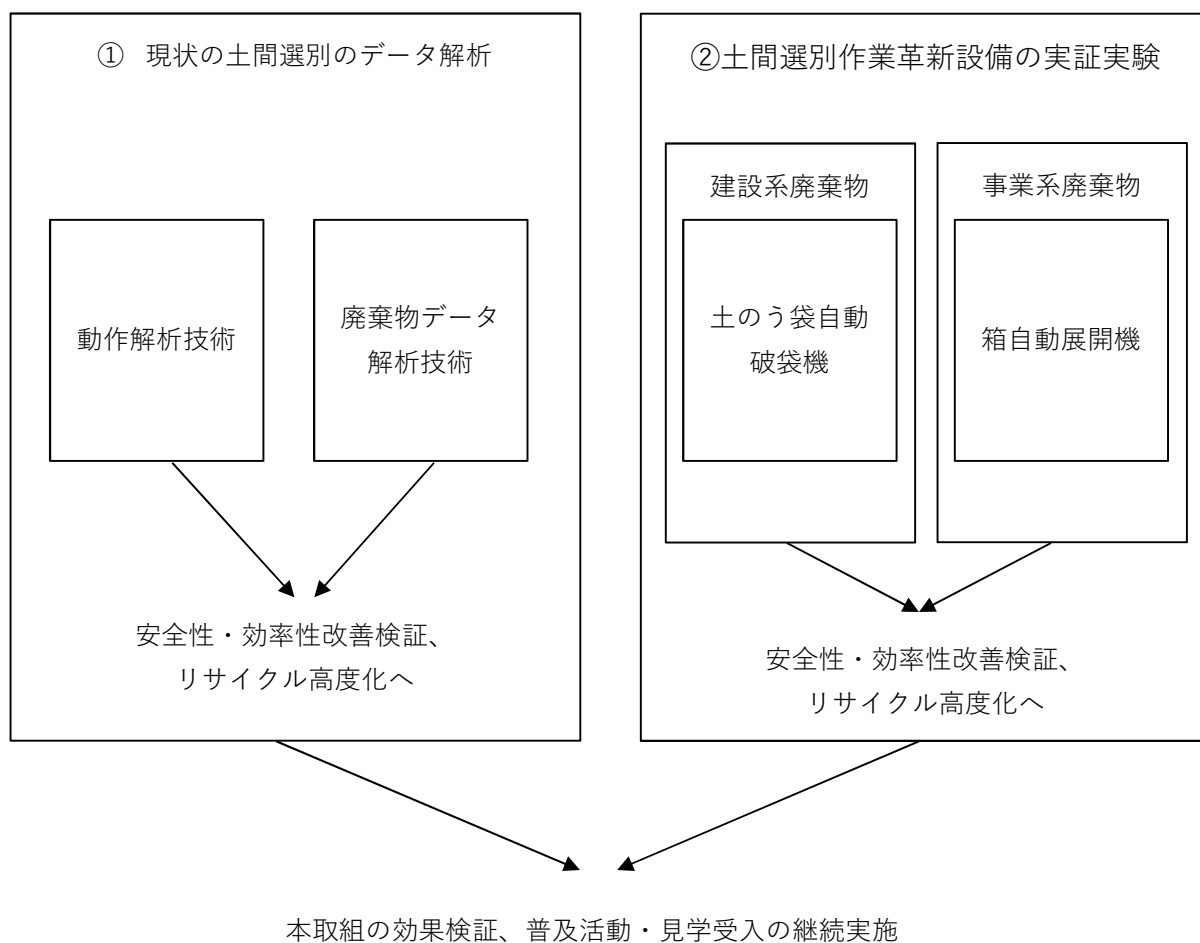
① 現状の土間選別のデータ解析

土間選別の作業を動画で記録し、本事業で開発した動作予測モデルより、“誰が”、“どんな作業を”、“どれだけやったか”をデータとして記録、データ解析により作業の課題や個人ごとの長所/短所が見える化、改善案を提示した。

② 土間選別作業革新設備の実証実験

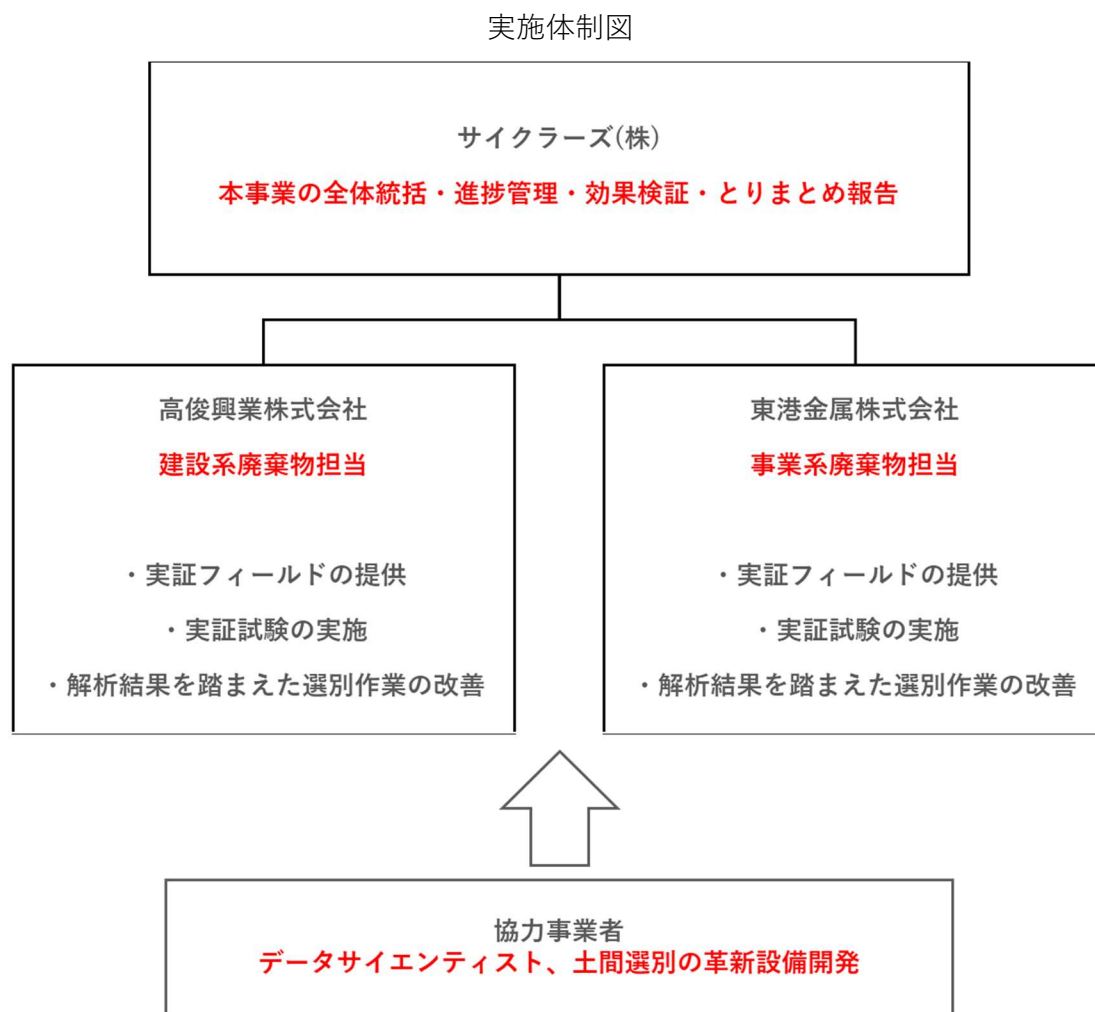
設備導入に向けたレイアウト/作業動線などの最適案をシミュレーションで見出した上で、設備を実際に導入し、現場の環境/品目に合わせた条件の最適設定、導入後の作業性をデータ解析するなど効果が狙い通りであるか確認を実施、継続フォローした。

本事業の全体フロー



1-3.本事業の実施体制

本事業は、サイ클ーズが全体統括、進捗管理、効果検証、とりまとめ報告を行い、高俊興業、東港金属にて実証実験を行った。高俊興業は建設廃棄物を担当し、東港金属は事業系廃棄物を担当した。また、データサイエンティストならびに土間選別の革新設備開発は、協力事業者と進めた。



2.土間選別の現状と問題

本事業は土間選別を対象としたものである。土間選別の現状と問題について整理を行った。

土間選別について明確な定義は存在しないが、本事業での土間選別は、中間処理施設に搬入される梱包物をカッターやナイフ等を用いて人力で開梱し、中身の産業廃棄物を確認し選別する作業を指す。

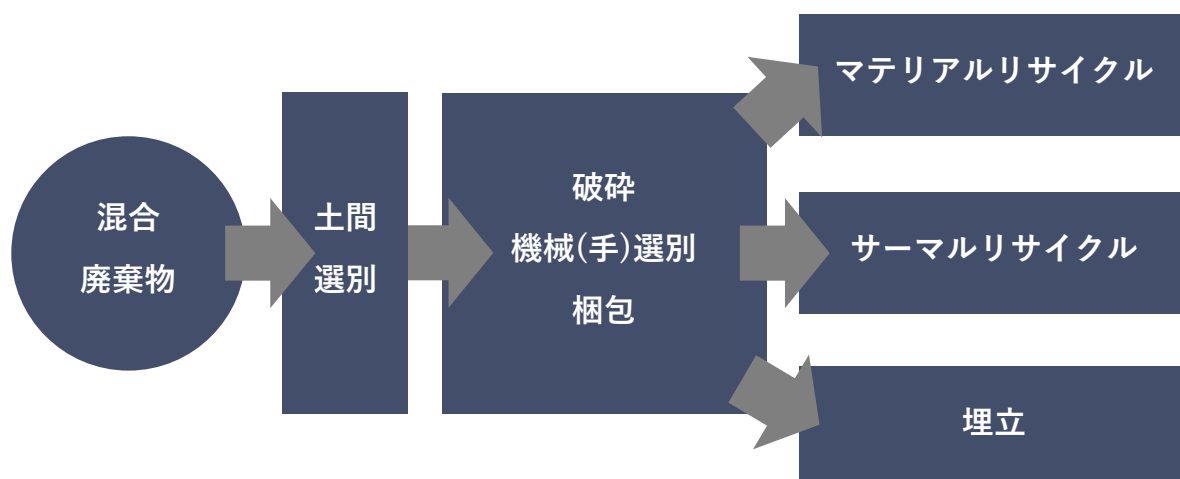
搬入される産業廃棄物の梱包例



土間選別の様子



土間選別が必要となる背景は、産廃処理施設には様々な形状・状態の廃棄物が搬入され、多くが土のう袋やガラ袋に入っており、異物・発火物の有無を確認する必要がある。また、それらの袋には様々な種類の廃棄物が入っており、いわゆる混合廃棄物の状態である。何らかの手を加えないと埋立に回ってしまうため、処理工程において選別、回収を行い、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルができる状態へ処理を行う。



処理工程の中でも、土間選別は最初の処理工程である。破碎以降は細くなるため高精度の分別は困難であり、土間選別が後のリサイクル率に大きな影響を与えると考えられる。このような仮説から、東港金属にて過去に行った実証実験の結果から土間選別がリサイクル率に及ぼす影響について検討した。前提を揃えるため同一事業者から搬入された廃棄物を対象に実証実験を行い、搬入された廃棄物に対し土間選別を行った場合と行わない場合それぞれに破碎、機械(手)選別を行い、リサイクル率の比較を行った。



実証実験の結果、土間選別ナシの場合のサーマルリサイクル率が18%であるのに対し、土間選別アリの場合のサーマルリサイクル率は50%であり、約3倍の開きがあることが分かる。よって、土間選別の有無がリサイクル率に大きく寄与することが分かった。

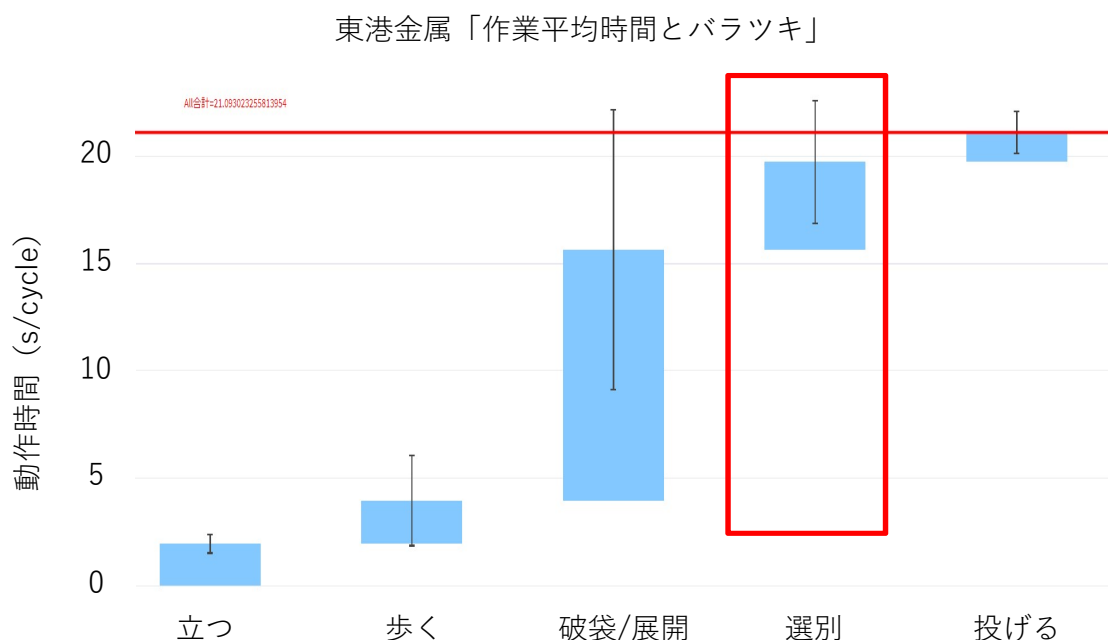
このように重要な土間選別だが、様々な問題も抱えている。実際の現場では他作業の兼ね合いもあり作業工数が多くかかり、土間選別が間に合わず分別すべきものを見落とす状況も度々見られる。また、作業にあたって危険な環境、工程がある。よって、大きく分けると①作業のムダ②作業の危険性が存在する。

①作業のムダに関しては、土間選別を独自の作業解析モデルを使用し（作業解析モデルに関する詳細は後述）、分析を行った。

土間選別作業は、対象まで歩く→破袋する→選別必要性を判断する→しゃがむ→対象をほぐす→対象を取る→立ち上がる→置場まで歩く→投げ置く、という一連の流れで進む。各作業を下記のように分類し、どの作業に時間を要しているのか調べた。

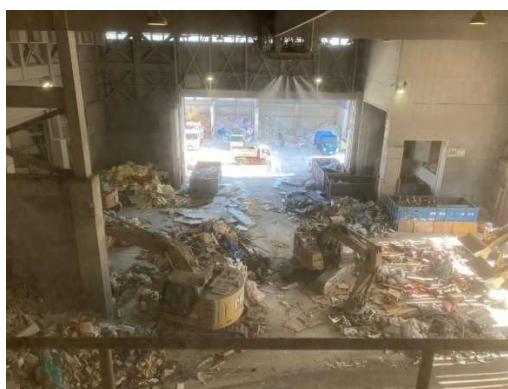
立つ	立ち上がる
歩く	対象まで歩く、置場まで歩く
破袋/展開	破袋する
選別	選別必要性を判断する、しゃがむ、対象をほぐす、対象を取る
投げる	投げ置く

下図から、土間選別作業全体の平均時間は21.1秒/回だが、選別作業自体は4.1秒/回であり、約20%しか選別作業に向き合えていなかった。このことから、最終的なリサイクル率に最も影響を与える土間選別において、本来の目的である選別に時間を割くことができていないという現状が見えてきた。



②作業の危険性に関しては、人力でガラ袋や土のう袋を開梱する際、カッターを用いるため「切れ・擦れ」のリスクがある。また、袋を開ける際にしゃがむ、腰を曲げた状態での作業行為による「腰痛」のリスクも高い。さらに、荷下ろし場では、人や重機・車両が入り組んだ中での土間選別を行う場所であり、地面での開梱作業は「接触」「追突」等の重大事故のリスクも高まる。これらの危険な作業が作業者の離脱、新規作業者の採用困難に繋がっているとも捉えられ、産業廃棄物処理業界の大きな課題である。

荷下ろし場の様子



下表から、他業界と比べ労働災害が多く、深刻さも目立つことが分かる。

各業種における度数率・強度率の推移（平成30年～令和4年）

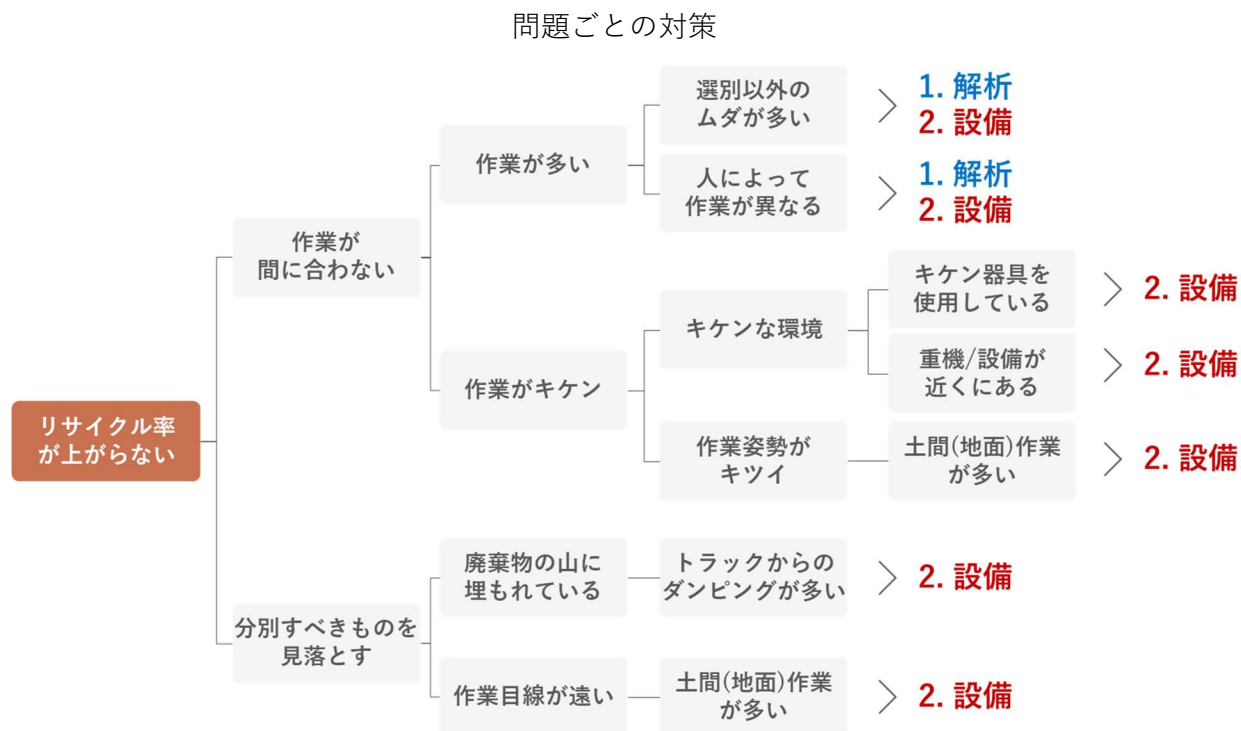
区分 業種	平成30年		令和1年		令和2年		令和3年		令和4年	
	度数率	強度率	度数率	強度率	度数率	強度率	度数率	強度率	度数率	強度率
全産業	1.83	0.09	1.80	0.09	1.95	0.09	2.09	0.09	2.06	0.09
建設業 (総合工事業を除く)	0.79	0.28	0.80	0.18	0.81	0.24	0.85	0.21	0.79	0.09
製造業	1.20	0.10	1.20	0.10	1.21	0.07	1.31	0.06	1.25	0.08
運輸業、郵便業	3.42	0.12	3.50	0.14	3.31	0.13	3.31	0.22	4.06	0.21
電気、ガス、 熱供給、水道業	0.65	0.01	0.70	0.01	0.75	0.24	0.67	0.01	0.62	0.01
卸売業、小売業	2.08	0.10	2.09	0.04	2.27	0.11	2.31	0.05	1.98	0.05
サービス業*	3.86	0.13	3.18	0.29	3.89	0.14	4.02	0.17	3.85	0.31
一般・産業廃棄物 処理業	6.70	0.30	6.99	0.17	6.95	0.48	7.36	0.17	6.52	0.51

出典：公益社団法人全国産業資源循環連合会

「産業廃棄物処理業における労働災害の発生状況（令和5年6月）」

また、現在土間選別作業の多くは人力で行われているが、設備への置き換えも検討されてきた。しかし、商品の多様化・電池製品の増加に伴い、従来の破袋機では発火などの事故が増加したことから、事前選別機では選別精度が満足できなくなり、人力での選別作業が必要となった。このような背景から、現代の排出状況に合わせた土間選別専用の自動開梱機が求められている。

土間選別の現状と問題から、問題ごとの対策についてまとめたものが下図である。



前述したように、土間選別には様々な問題がある。本事業では有効な対策を「1.解析」と「2.設備」の2通りで考えた。「1.解析」に関しては改善のプロセスであり、データ解析を中心とした比較的すぐに着手できるものである。一方、「2.設備」に関しては革新のプロセスであり、設備導入による現場革新を前提とした一定の時間を要するものである。本事業では、このような前提から「1.解析」「2.設備」の2軸で事業を進めた。

3.現状の土間選別のデータ解析

3-1.背景と目的

土間選別の現状と問題については、前頁にてまとめた。有効な対策は2通り考えられ、「解析」と「設備」である。まずは「解析」に焦点を当て事業を進めた。

リサイクル率を上昇させるためには土間選別を行う必要があるが、実際の現場では他作業の兼ね合いもあり作業工数が多くかかり、作業が間に合わない状況が度々見られる。それは、「選別以外のムダが多い」「人によって作業が異なる」ことが問題だと考えられ、それらの問題を対策するために、データ解析を使った改善活動を行った。

(再掲) 問題ごとの対策



3-2.実施方法

前述した「選別以外のムダが多い」「人によって作業が異なる」問題を改善するためには、まずAIモデル上で人を認識し、動作のムダや各々の動作の違いを把握する必要がある。そのため、骨格認証を用いて人を自動認識することで人の動きを把握した。その後、得られた数値データを統計手法/設備学習で分析する手法を取った。

具体的な実施方法は下記の通りである。

1	骨格認証→節点座標取得→座標値変化からの作業動作のアノテーション→作業解析モデル作成
2	土間選別作業を動画撮影
3	1によって作成した作業解析モデルを用い、作業者ごとの作業内訳を出力
4	3の数値結果に対し、統計手法/設備学習手法を用い、作業者ごとの傾向/特徴、品目ごとの傾向/特徴、選別に関わる正味作業率、作業者ごとの身体への負荷、作業者ごとの能力数値化、品目ごとの能力数値化などを基礎データとして出力
5	4のうち、特に相関の強いと判断された項目においては、組み合わせた解析も別途行い、より細かい課題特定を進める※これは無数にあるため現場ごとに進める 例：作業者ごとの品目ごとの能力（Aさんのプラスチックの作業速度など）
5	対策実施・効果確認
6	1～5を繰り返し、最終的なリサイクル率を定量化し評価
7	業界横展開を見据えまとめ

上記の1～3について、作業風景を動画で撮影し、骨格認証を用いた作業解析を行う。特定の人に焦点を当て骨格認証を行い、何の作業を行っているか分析するモデルを作成する。しかし、実際の現場では車両が行き交い複数の作業員が同時に作業しているため、特定の作業員を抽出することは困難である。そのため、複数人から個人を抽出し、その個人において骨格認証を行うモデルを作成した。

骨格認証においては、stand（立つ）、walk（歩く）、open（開く）、sort（分ける）、throw（投げる）、bend（かがむ）の6種類の作業を特定し抽出を行う。

抽出を行った作業の例

stand



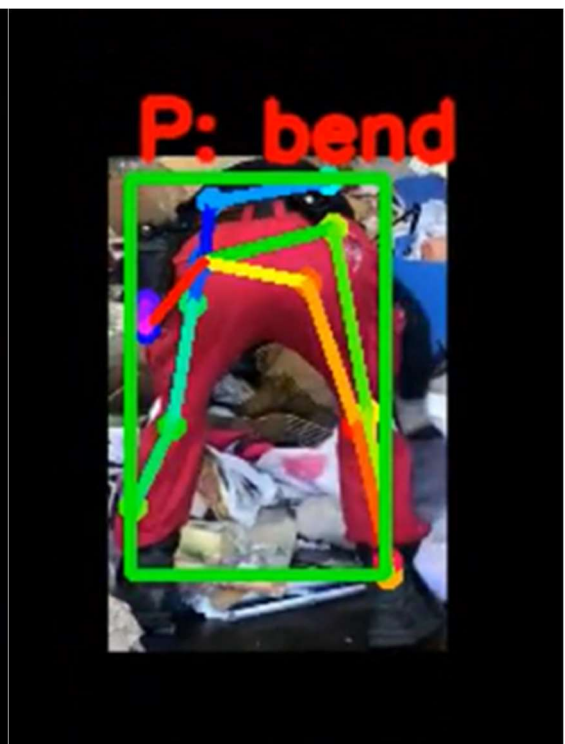
sort



throw



bend



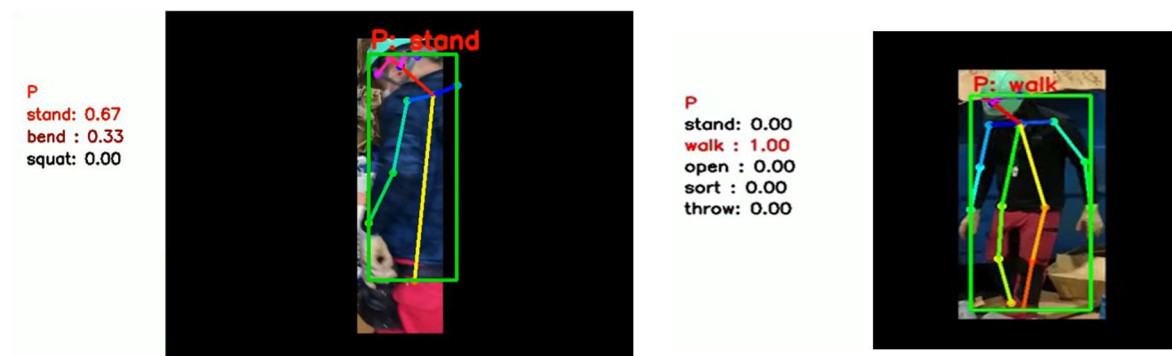
動画撮影の例



3-3.実施結果

下図の通り、事業系廃棄物担当の東港金属、建設系廃棄物担当の高俊興業ごとに作業解析モデルを作成した。作業者ごとのstand（立つ）、walk（歩く）、open（開く）、sort（分ける）、throw（投げる）のように作業レパートリーを定め、作業抽出を行った。

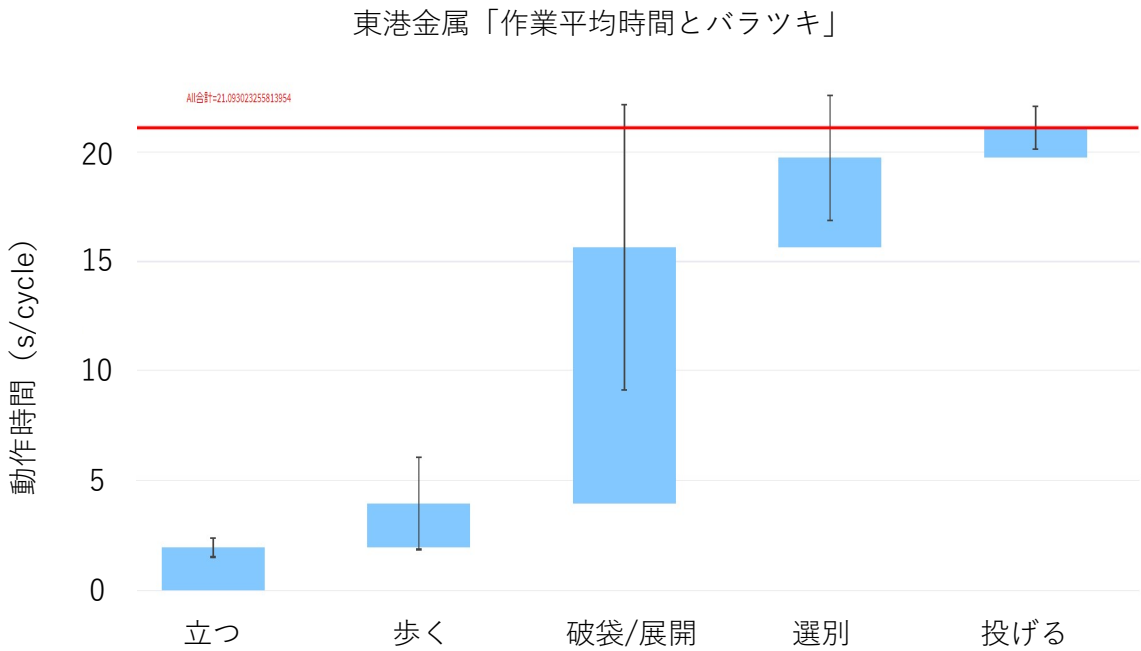
東港金属の例



高俊興業の例



作業解析モデルを使用し、東港金属にて作業解析を行った。作業解析結果から、各作業の作業時間とバラつきを求めたものが下図である。



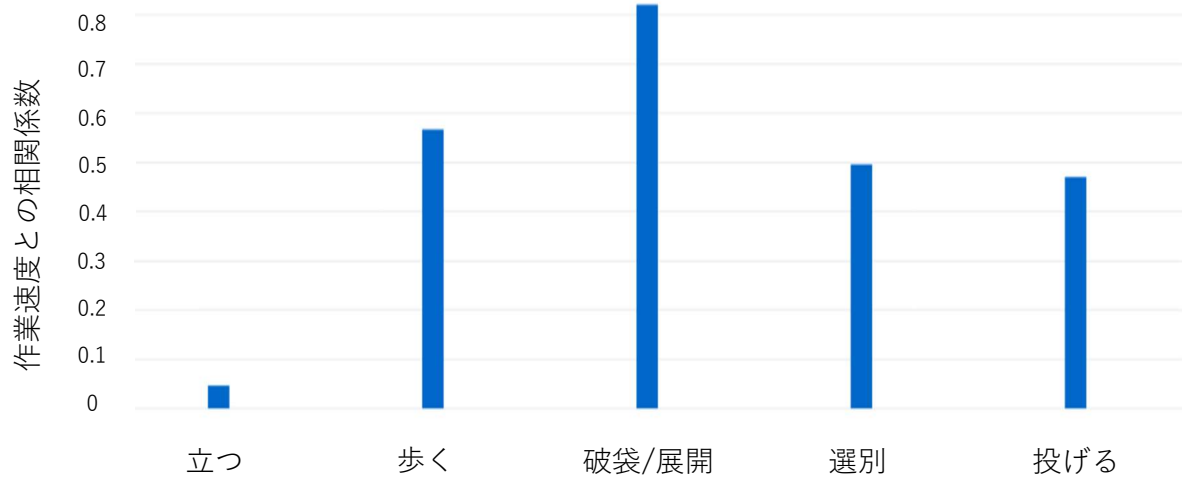
土間選別作業全体の平均時間は21.1秒/回であり、各作業の平均時間は以下の通りである。

立つ	歩く	破袋/展開	選別	投げる
1.9秒/回	2秒/回	11.7秒/回	4.1秒/回	1.4秒/回

破袋/展開は11.7秒/回であり、土間選別作業全体の半分以上の時間を費やしている。また、破袋/展開は作業時間にバラつきが大きく見られる。よって、土間選別において破袋/展開に工数がかかっており、各作業者によって作業が異なることが分かる。

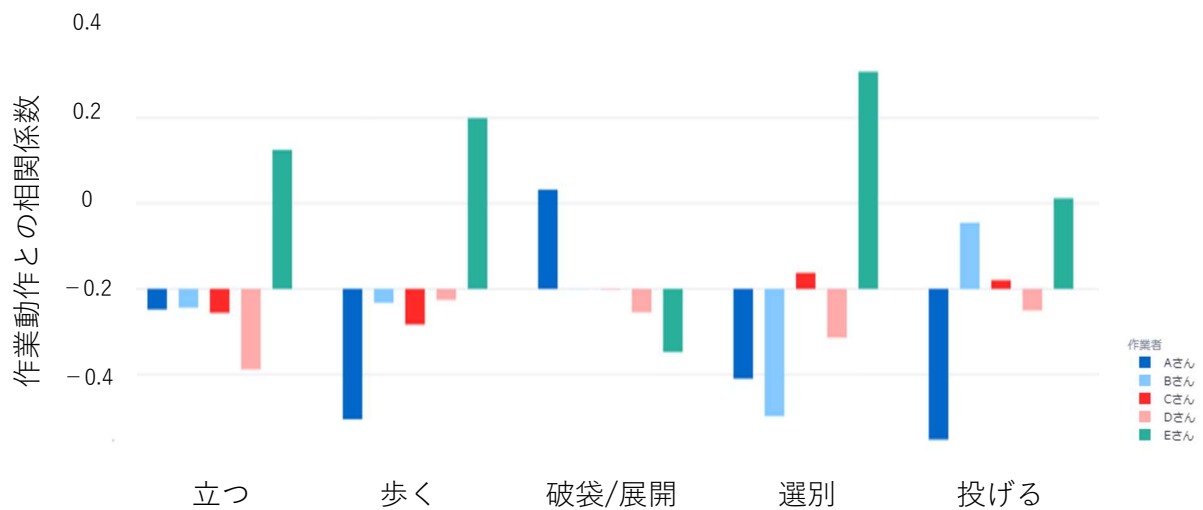
また、各作業と作業速度の相関を求めたものが下図である。下図から破袋/展開に相関が見られ、作業に時間を要していることが分かる。また、歩くにおいても相関が見られ、破袋/展開に次いで対策が必要なことが分かる。歩くに関しては平均値だけでは分からなかった課題であり、作業速度と作業動作の相関から明らかになった結果である。

東港金属「作業速度と作業動作の相関」



さらに、各作業に対し作業者ごとの相関を求めた。

東港金属「作業動作と個人の相関」

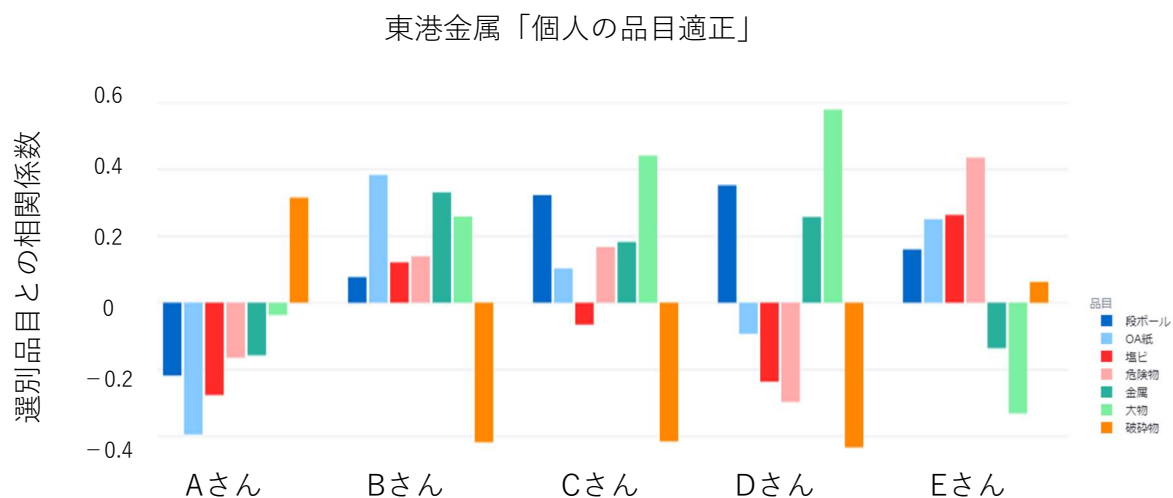


作業者ごとに各作業に対する相関が見て取れる。

	立つ	歩く	破袋/展開	選別	投げる
正の相関	E	E	A	E	B、E
相関なし	A、B、C	B、C、D	B、C、D	C、D	C、D
負の相関	D	A	E	A、B	A

最も対策の必要がある破袋/展開においては、Eさんが苦手としている。このように、各作業に対して作業者の苦手/得意が分かり、有効な解決策を探ることが可能になった。

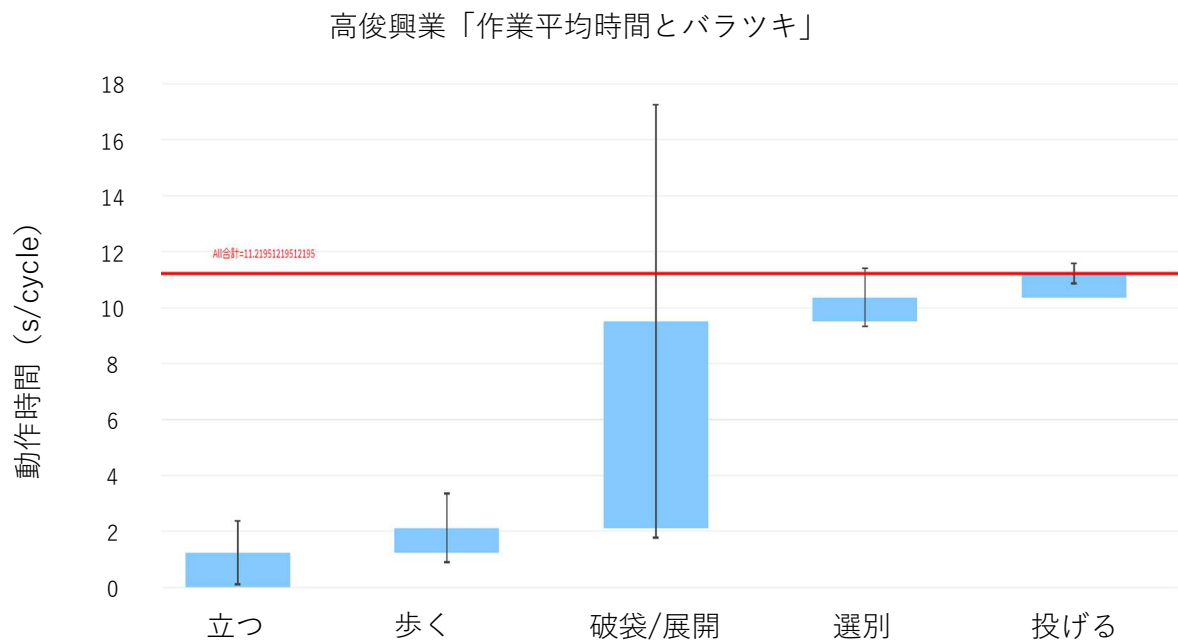
そして、下図にて個人の品目適正をまとめた。



	A	B	C	D	E
正の相関	破砕物	OA紙 塩ビ 危険物 金属 大物	段ボール OA紙 危険物 金属 大物	段ボール 金属 大物	段ボール OA紙 塩ビ 危険物
相関なし	大物	段ボール	塩ビ	OA紙	破砕物
負の相関	段ボール OA紙 塩ビ 危険物 金属	破砕物	破砕物	塩ビ 危険物 破砕物	金属 大物

破袋/展開作業を苦手としているEさんは、金属と大物の取り扱いに苦戦していることが分かる。このことから、土間選別作業の破袋/展開において、Eさんが金属/大物を取り扱う際が最も問題だと読み取れる。また、破砕物に関しては大半の作業者（Bさん、Cさん、Dさん）が最も苦手としているが、Aさんが得意としていることが分かる。Aさんの動きを真似することで、土間選別作業全体の効率化に繋がる可能性がある。

同様に、高俊興業でも作業解析を行った。下図は作業平均時間とバラつきである。

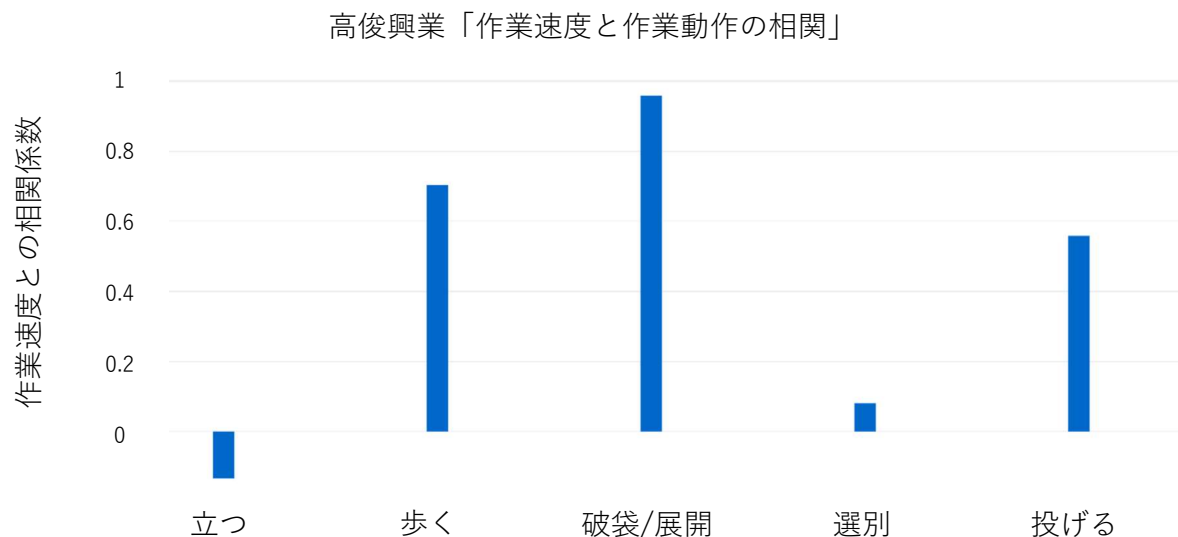


土間選別作業全体の平均時間は11.2秒/回であり、各作業の平均時間は以下の通りであった。

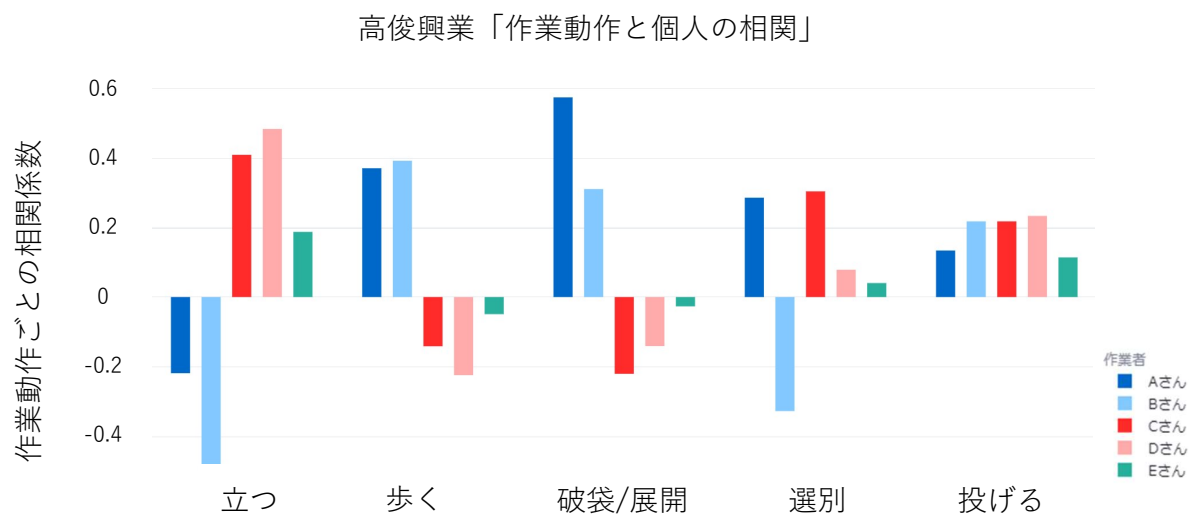
立つ	歩く	破袋/展開	選別	投げる
1.2秒/回	0.9秒/回	7.4秒/回	0.9秒/回	0.8秒/回

破袋/展開は7.4秒/回であり、土間選別作業全体の約7割の時間を費やしており、東港金属と同様に破袋/展開に作業時間を要していることが分かった。また、破袋/展開は作業者ごとの作業時間にバラつきが大きく見られる。

また、各作業と作業速度の相関を求めた。下図から破袋/展開に相関が見られ、作業に時間を要していることが分かる。歩くにおいても相関が見られ、破袋/展開に次いで対策が必要なことが分かる。



さらに、各作業に対し作業者ごとの相関を求めた。

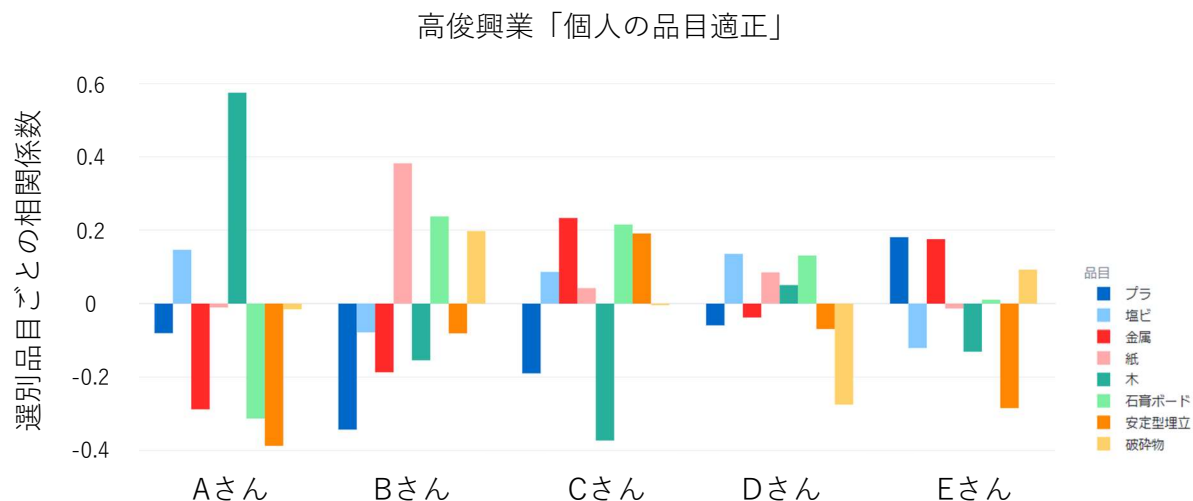


作業者ごとに各作業に対する相関が見て取れる。

	立つ	歩く	破袋/展開	選別	投げる
正の相関	C、D、E	A、B	A、B	A、C、D	A、B、C、D、E
相関なし		E	E	E	
負の相関	A、B	C、D	C、D	B	

最も作業時間を要する破袋/展開においてはCさん、次いでDさんが苦手としており、Aさん、次いでBさんが得意としていることが分かった。

そして、下図にて個人の品目適正をまとめた。



	A	B	C	D	E
正の相関	塩ビ 木	紙 石膏ボード 破砕物	塩ビ 金属 石膏ボード 安定型埋立	塩ビ 紙 石膏ボード	プラ 金属 破砕物
相関なし	紙 破砕物		紙 破砕物	金属 木	紙 石膏ボード
負の相関	プラ 金属 石膏ボード 安定型埋立	プラ 塩ビ 金属 木 安定型埋立	プラ 木	プラ 安定型埋立 破砕物	塩ビ 木 安定型埋立

個人ごとの品目適正を見ると、Cさんは木を最も苦手としていることが分かる。木の選別に関しては、Aさんが最も得意としている。一方、CさんはAさん、Bさん、Dさん、Eさんが苦手としている安定型埋立の選別には適正が見られる。

3-4.考察と課題

骨格認証を用いた作業解析モデルを用いて東港金属と高俊興業にて作業解析を行い、各作業を分析した。作業平均時間とバラツキ、作業速度と作業動作の相関、作業動作と個人の相関、個人の品目適正をはじめ分析結果が得られた。

東港金属、高俊興業両者に見られる結果として、破袋/展開に作業時間を要しており、課題になっていることが挙げられる。作業時間にバラつきも見られ、破袋/展開を効率化することでリサイクル率向上に繋がると考えられる。

また、作業者ごとの各作業に対する適正の違いも見られた。東港金属の例では、破袋/展開において、Eさんが金属/大物の取り扱いを苦手としており、対策の必要がある。この結果を基に現場で聞き取りを行った所、Eさんは他メンバーより非力であり、重量物の取り扱いに苦戦していたことが明らかになった。一方、Eさんは他の作業者が苦手としている危険物や塩ビの選別は得意としており、Eさんを模範とすることで現場全体の作業効率向上に繋がる。

本事業では、作業平均時間とバラツキ、作業速度と作業動作の相関、作業動作と個人の相関、個人の品目適正に焦点を当てたが、これら以外にも品目ごとの相性など多くのデータアプローチを行うことが可能である。本事業を通して、従来の勘/コツ/経験による改善活動だけでは分らなかったことが見えてきた。この結果を基に、現場で役割分担を再設定、もしくは適正のある人の動きを基に現場でフィードバックを行う等の施策が可能になった。

課題は、データ解析による改善だけでは限界があることである。本解析を通して、これまで見えてこなかった課題が明確になり、改善方法も示された。しかし、改善だけでは解決しきれない作業が存在することも事実である。そのため、土間選別の作業そのものを代替わりしてくれる設備開発が必要である。

4.連続自動開梱機

4-1.自動破袋機

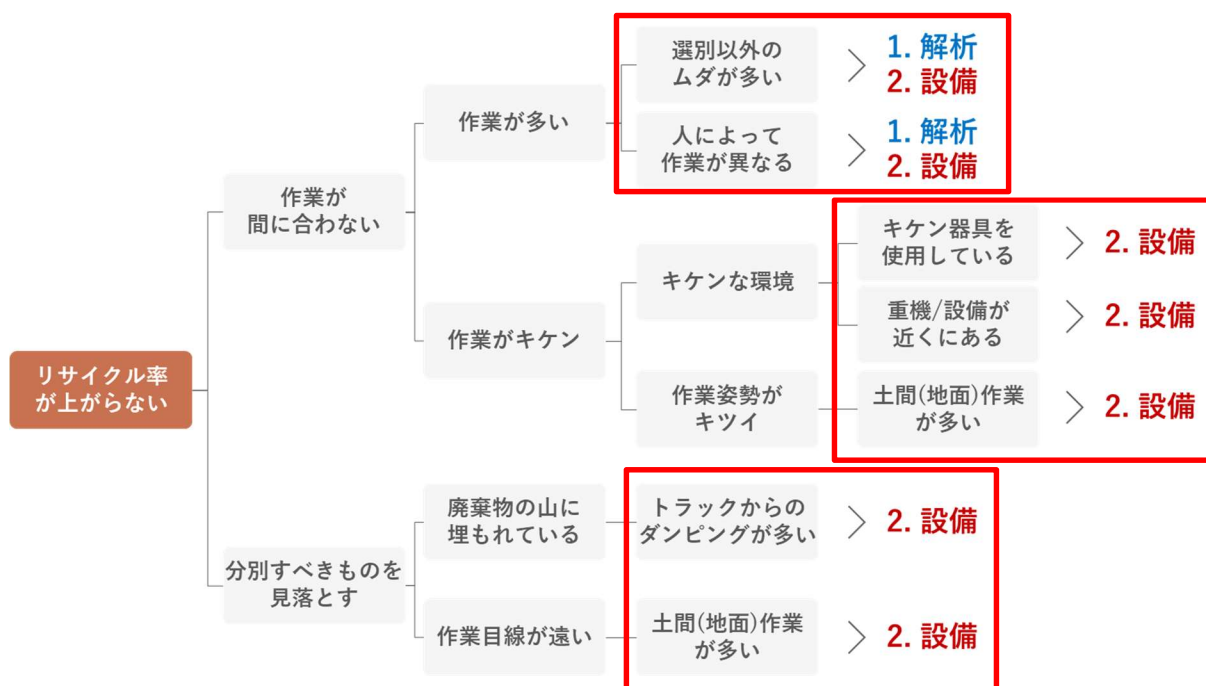
4-1-1.背景と目的

土間選別の問題についての有効な対策は2通り考えられ、「解析」と「設備」である。前述の通り「解析」によって一定の改善が見込めることが分かった。しかし、あくまで改善のプロセスであり、飛躍的なリサイクル率の向上、労働災害の撲滅には結びつかない。土間選別を変えるためには、従来の人の手による開梱から設備による開梱へ変える必要がある。

「解析」に続き、「設備」に焦点を当て、開梱機による土間選別工程の効率化、選別精度向上によるリサイクル率向上、労働災害の撲滅を目的に事業を進めた。

これまでも機械による土間選別は検討されてきたが、商品の多様化・電池製品の増加に伴い、従来の破袋機では発火などの事故が増加する恐れがあることから、機械化が進んでいないのが現状である。このような背景から、土間選別において最も時間を要する「破袋／展開」作業に着目し、搬入される廃棄物の袋だけを破袋する土間選別専用の破袋機を開発することとした。

(再掲) 課題ごとの対策



4-1-2.実施方法

ここまでの作業解析によって、破袋/展開、しゃがむ/立ち上がる/歩くについて、非効率かつ不安全性が確認された。これは、東港金属/高俊興業いずれの事業者でも再現性が確認された課題である。そのため、「できるだけ破袋/展開を自動化」「できるだけ腰位置作業にしてしゃがむ/立ち上がる/歩くをなくす」必要がある。このような考えのもと、自動で袋のみを破袋し、立ち姿勢で作業を行うことができる設備の開発をコンセプトに事業を進めた。

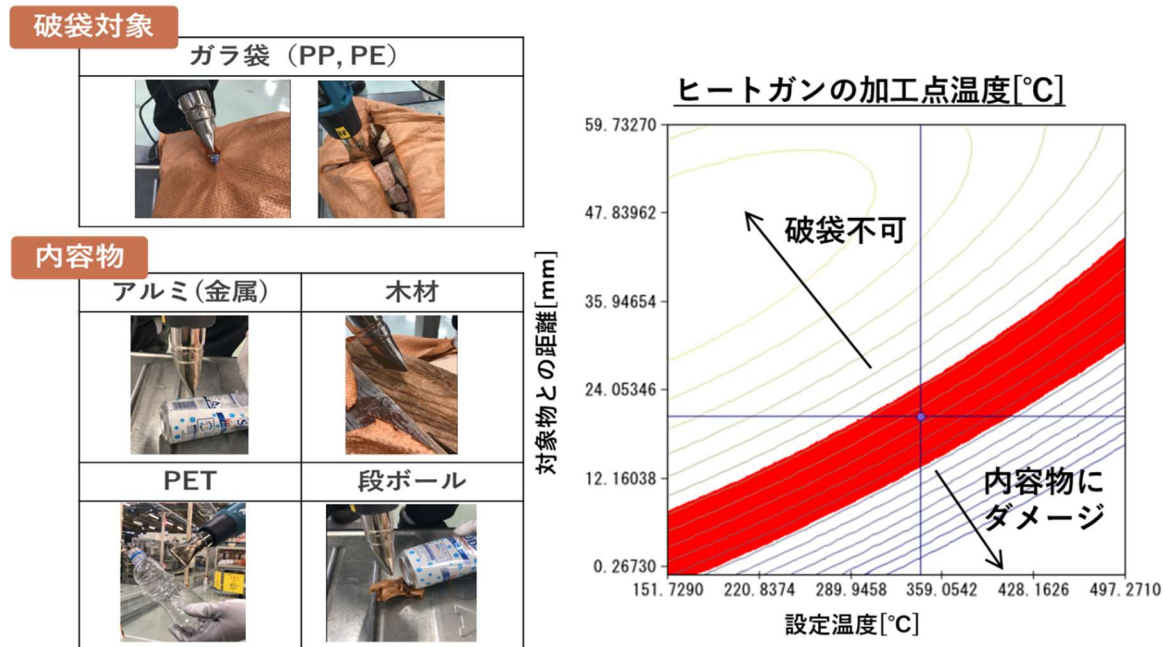
具体的な実施方法は下記の通りである。

1	協力事業者にて基礎評価を実施、設備を制作 サイクラーズにて設備をレンタルし、高俊興業に設置
2	高俊興業にてテスト運用
3	2におけるテスト運用結果と従来の土間選別作業を比較し、選別精度/安全性/効率性を評価 ※前項のデータサイエンスとも組み合わせる
5	3において最終的なリサイクル率を定量化し評価
6	業界横展開を見据えまとめ

自動で袋のみを破袋し立ち姿勢で作業を行うためには、破袋対象物がコンベア上に流れ、何らかの機械で袋のみを破袋し開梱するような設計が望ましい。破袋に関しては、麻状の網目（ガラ袋/土のう袋など）を切ることができる機械が世の中に存在しないため、別の方法で破袋をする必要がある。そこで着目したのが、ヒートガンである。ヒートガンの場合、局所的に袋表面だけを熱で溶かすため、袋の中身に影響を与えないと考えられる。さらに、袋の凹凸も許容できることから、今回の設備制作にあたってヒートガンを採用することにした。

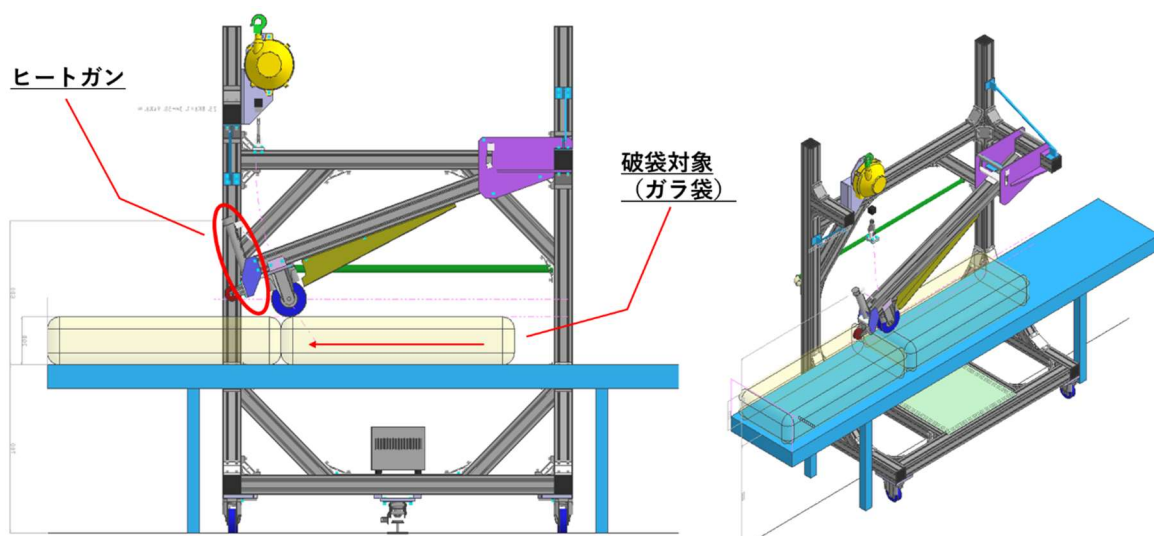
設備制作のため、ヒートガンの基礎評価を行った。距離と設定温度をコントロールし、内容物へのダメージを回避しつつ破袋を可能にした。

ヒートガンの基礎評価



下図のように、破袋対象物（ガラ袋など）を右から左に流し、ヒートガンで袋上部を破袋する仕組みで設計を行った。

プロト機の設計



上述したヒートガンの基礎評価とプロト機の設計を踏まえ、破袋性・発火性の基礎評価を行った。最大出力(550℃相当)、距離15mm～20mm程度にて袋がいずれも切断できることが確認できた。

破袋性・発火性の基礎評価

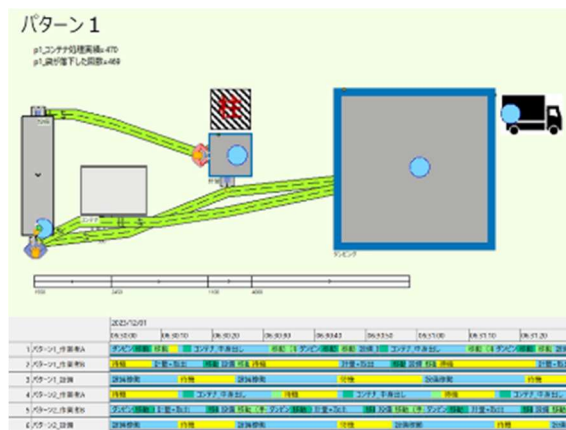
ガラ袋 (PP)		ガラ袋 (PE)		梱包バンド	床材
					
アルミ (金属)	木材	PET	塩ビ	段ボール	ペーパーウェス
					

中身の廃棄物へのダメージについてもそれぞれ30秒間熱風を照射し続けても発火・ガス発生など見られなかった。要因は、溶融・発火温度の違いがうまく作用したためと考えられる。

各素材の融点、発火温度

ガラ袋素材の融点	PP : 160℃、PE : 130～140℃
廃棄物素材の融点	PET : 270℃、ABS (非結晶樹脂なので融点という概念がない、粘度が下がるのは約230℃)
廃棄物素材の発火温度	紙450℃ ティッシュペーパーや新聞紙230～290℃ 木材250～460℃程度

さらに、設備導入に当たって、下図のように設備導入に向けたレイアウト/作業動線などの最適案をシミュレーションで見出し効果見積を行った上で導入した。



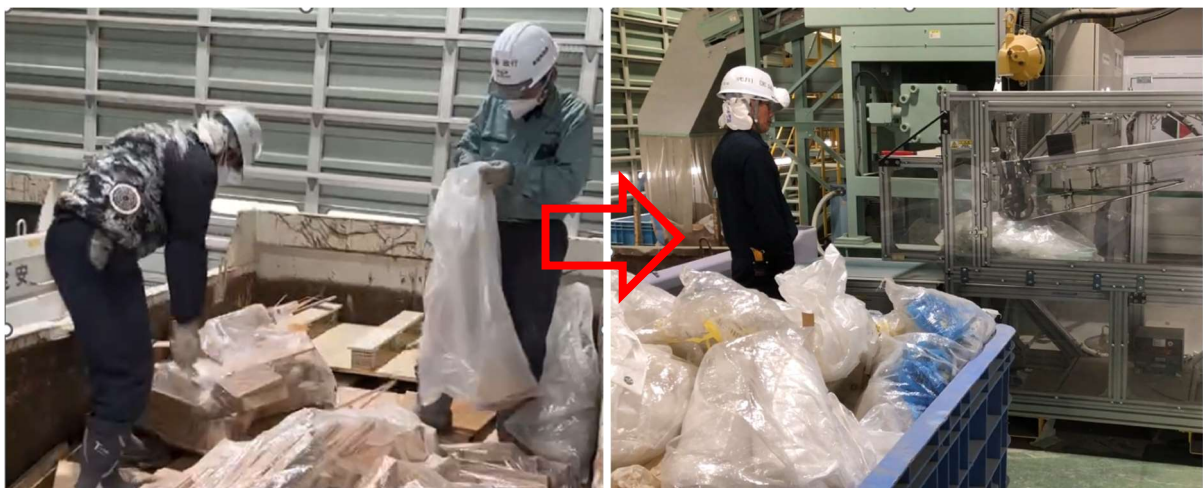
4-1-3.実施結果

そして、これまでの基礎評価を踏まえ設備を制作し、高俊興業にて実証実験を行った。



Before

After



自動破袋機導入により、これまで手作業で行われてきた土間選別が設備に置き換わる形となった。自動破袋機では、廃棄物が入った袋を設備に投入すると、ベルトコンベアで自動で運ばれる。設備にはブレードが装着されており、中身を破碎しない力加減で外側の袋だけを破袋する。破袋後は、人の手によって中身を取り出し選別を行う。

自動破袋機による破袋後の土のう袋



設備を導入したことによって、人力で行う土間選別と比べ、作業時間が半分になることが分かった。従来の人力で行われてきた土間選別を見ると、作業全体で破袋にかかる時間が最も長い。それを設備に置き換えることで、作業全体で見ると作業時間が半分になる。



一方、実証実験を続ける中で、設備で破袋が難しい処理困難物が現れた。この処理困難物を処理するためには、自動破袋機の性能を上げる必要があり、当初のブレードが1本の1連式から、ブレードが2本の2連式へ改良を行った。



1 連式

2 連式



2 連式では、一度破袋した袋をベルトコンベア上で運びながら向きを回転させ、もう一度破袋を行う。そうすることで、1 連式では破線が1 本だったが、2 連式では破線が2 本クロスする形で入り、破袋率が上昇する。実証実験の中で1 連式と2 連式を比較すると、1 連式では76%の破袋率だったが、2 連式では99%まで破袋率が上昇した。

1 連式と 2 連式での破袋率の違い

1 連式



2 連式



※破袋率 99%

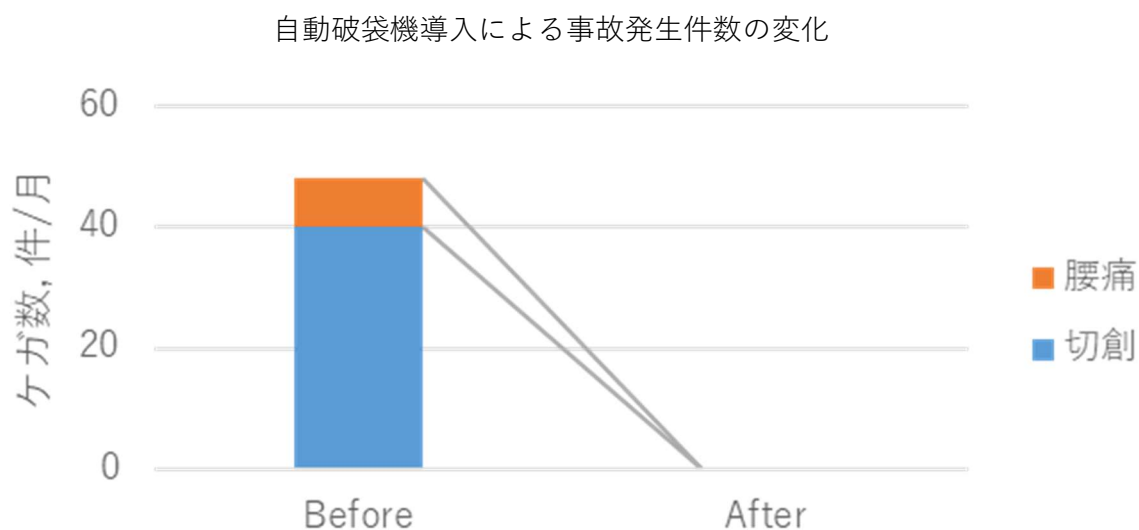
※破袋率 76%



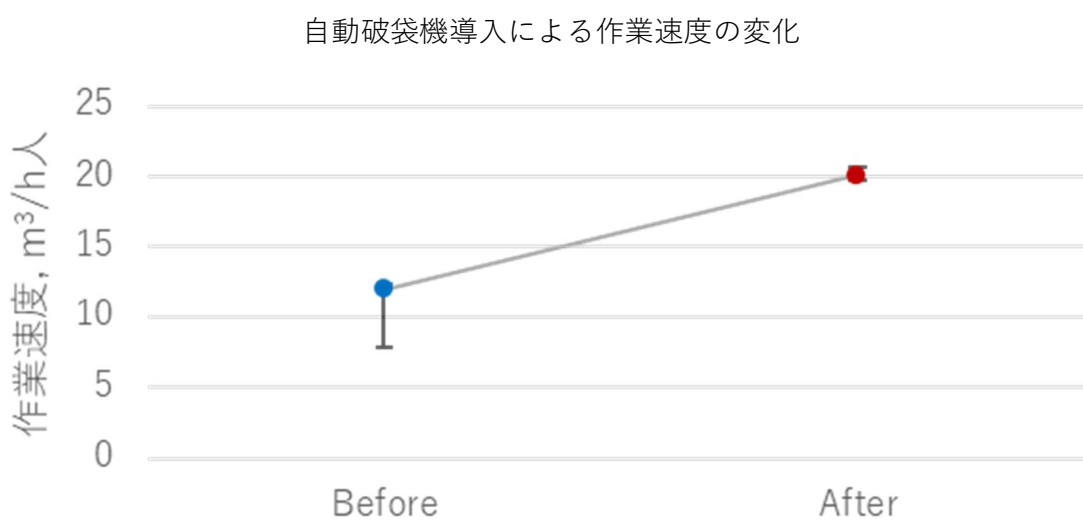
破袋の様子



自動破袋機導入によって、どのような変化があったのか調査を行った。最も影響があったのは事故発生件数の減少である。導入前は1か月あたり約50件あった腰痛や切創などの事故が導入後は0件になった。これは、従来の土間選別のように腰をかがめる必要がなくなったこと、カッターやナイフを使用する必要がなくなったことが要因である。

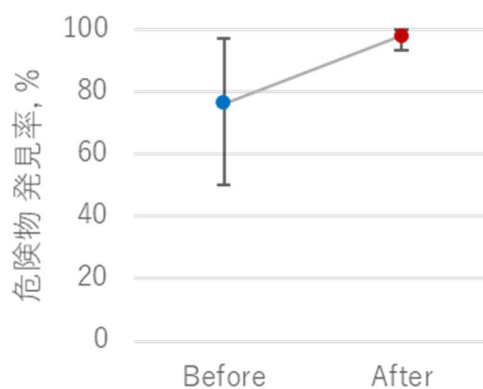


作業速度の変化では、導入前は一人当たり約12m³/hだったが、導入後は約20m³/hになった。作業を設備によって自動化することで、作業の高速化に繋がっていることが分かる。



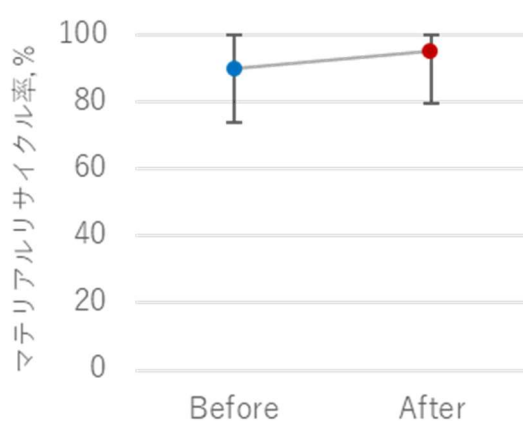
危険物発見率の変化では、導入前は約76%だったが、導入後は約97%になった。破袋工程を自動化することで、本来の選別作業に集中でき、危険物の発見率が上昇したと考えられる。

自動破袋機導入による危険物発見率の変化



そして、最終的な目標であるマテリアルリサイクル率の変化では、導入前は約90%だったが、導入後は約95%に上昇した。5%上昇したことで、当初に掲げた目標であるマテリアルリサイクル率の3%向上を達成することができた。腰痛や切創などの事故が起こりづらく、本来の選別作業に集中できる環境を整えることで、リサイクル率の上昇に繋がったと考えられる。

自動破袋機導入によるマテリアルリサイクル率の変化



4-1-4.考察と課題

自動破袋機を開発し、高俊興業にて実証実験を行った。自動破袋機の導入によって、作業効率の大幅向上、事故発生の撲滅、危険物発見率の向上、そしてマテリアルリサイクル率の向上に繋がることが分かった。

ブレードが1本の1連式からブレードが2本の2連式に変えることによって99%の破袋率になり、搬入されるほとんどの土のう袋やガラ袋の袋のみを破袋することが可能になり、実運用にも十分耐えられる仕様となった。本設備は事業終了後も高俊興業にて稼働予定である。

今後の課題は、本設備の普及である。本設備は、中間処理施設に導入される破碎機や選別機のように生産能力に直結するような設備ではない。あくまで生産過程の一部工程を革新する設備であるため、この革新をどう評価するか経営層によって分けられると考えられる。リチウムイオン電池起因の火災をはじめ、労働災害の撲滅は業界の大きな課題のため、本設備の評価に当たっては純粋な費用対効果だけではなく、想定されうるリスクを加味した評価が望ましい。評価にあたっては、本事業で評価手法として用いた「導入による事故発生件数の変化」や「火災の発生件数」などが挙げられる。

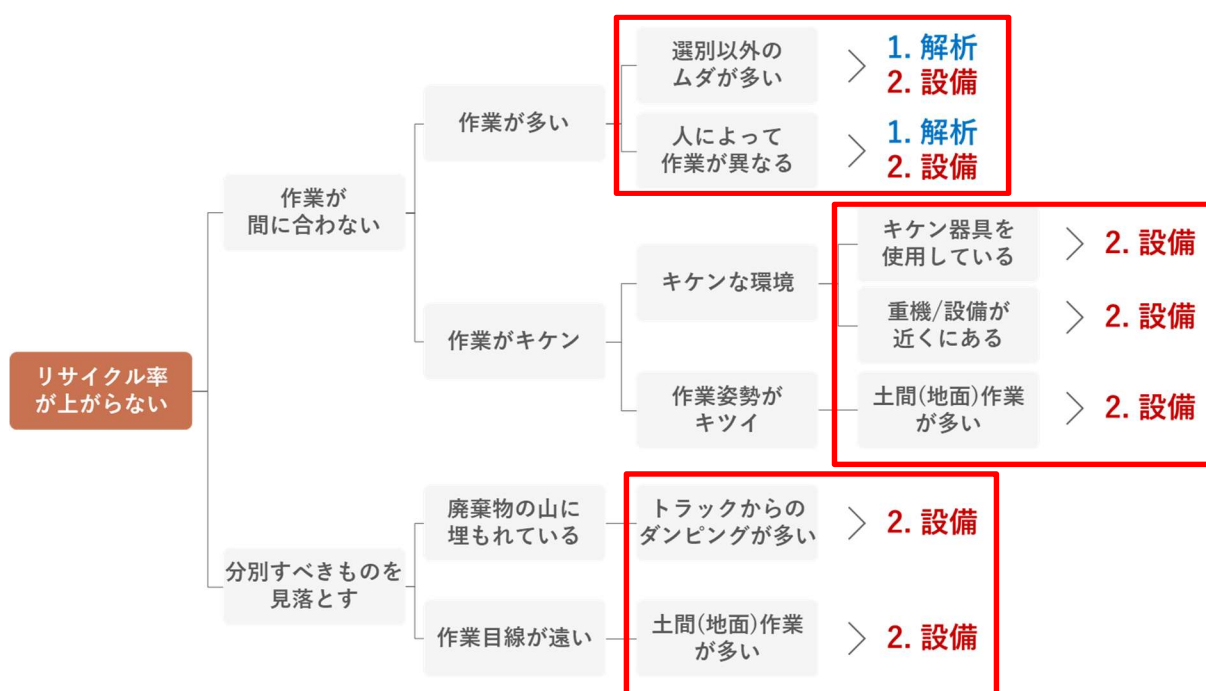
4-2.箱自動展開機

4-2-1.背景と目的

自動破袋機の導入によって、作業効率の大幅向上、労働災害の撲滅、危険物発見率の向上、そしてマテリアルリサイクル率の向上に繋がることが分かった。

上記のアプローチは、搬入されてきた産業廃棄物をいかに効率良く処理するかという考えだったが、そもそも搬入される廃棄物は土のう袋をはじめ処理が難しい袋に梱包されている。袋そのものの在り方を変えることによって、リサイクルの高度化を図れる可能性がある。このような仮説のもと、従来の処理が難しい多様な袋に梱包されている状態から、それらの代替として専用箱による箱自動展開機を用いて選別するような仕組みへの転換を図った。

(再掲) 課題ごとの対策



4-2-2.実施方法

ここまでの作業解析によって、破袋/展開、しゃがむ/立ち上がる/歩くについて、非効率かつ不安全性が確認された。これは、東港金属/高俊興業いずれの事業者でも再現性が確認された課題である。そのため、「できるだけ破袋/展開を自動化」「できるだけ腰位置作業にしてしゃがむ/立ち上がる/歩くをなくす」必要がある。さらに、土のう袋をはじめ処理が難しい袋に梱包されている廃棄物を専用の箱に代替する。このような考えのもと、専用箱を用いて自動開梱を可能に、立ち姿勢で選別作業を行うことができる設備の開発をコンセプトに事業を進めた。

具体的な実施方法は下記の通りである。

1	協力事業者にて基礎評価を実施、設備を制作 サイ클ーズにて設備をレンタルし、東港金属に設置
2	東港金属にてテスト運用
3	2におけるテスト運用結果と従来の土間選別作業を比較し、選別精度/安全性/効率性を評価 ※前項のデータサイエンスとも組み合わせる
5	3において最終的なリサイクル率を定量化し評価
6	業界横展開を見据えまとめ

産業廃棄物処理の現場では土のう袋やガラ袋、段ボールをはじめ様々な形で梱包された状態で搬入される。これらの破袋/展開に時間を要することは前述したが、破袋/展開が容易な箱に入れ、自動展開し選別できるような設計ができれば土間選別の高度化が図れると考えた。用いる箱については、幾つかのパターン（25L、48L、84L）にて検討を行い、多くの廃棄物を処理するため極力大きく、持ち運びが容易な84Lを採用した。その箱を設備中央部で回転・展開し、中に入っている廃棄物を選別する仕組みで機械を設計した。



4-2-3.実施結果

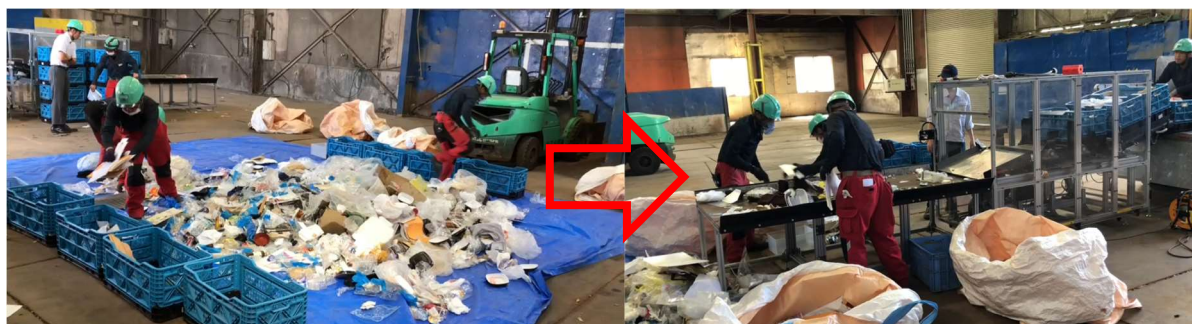
そして、これまでの検討プロセスから下記設備を制作し、東港金属にて実証実験を行った。

箱自動展開機

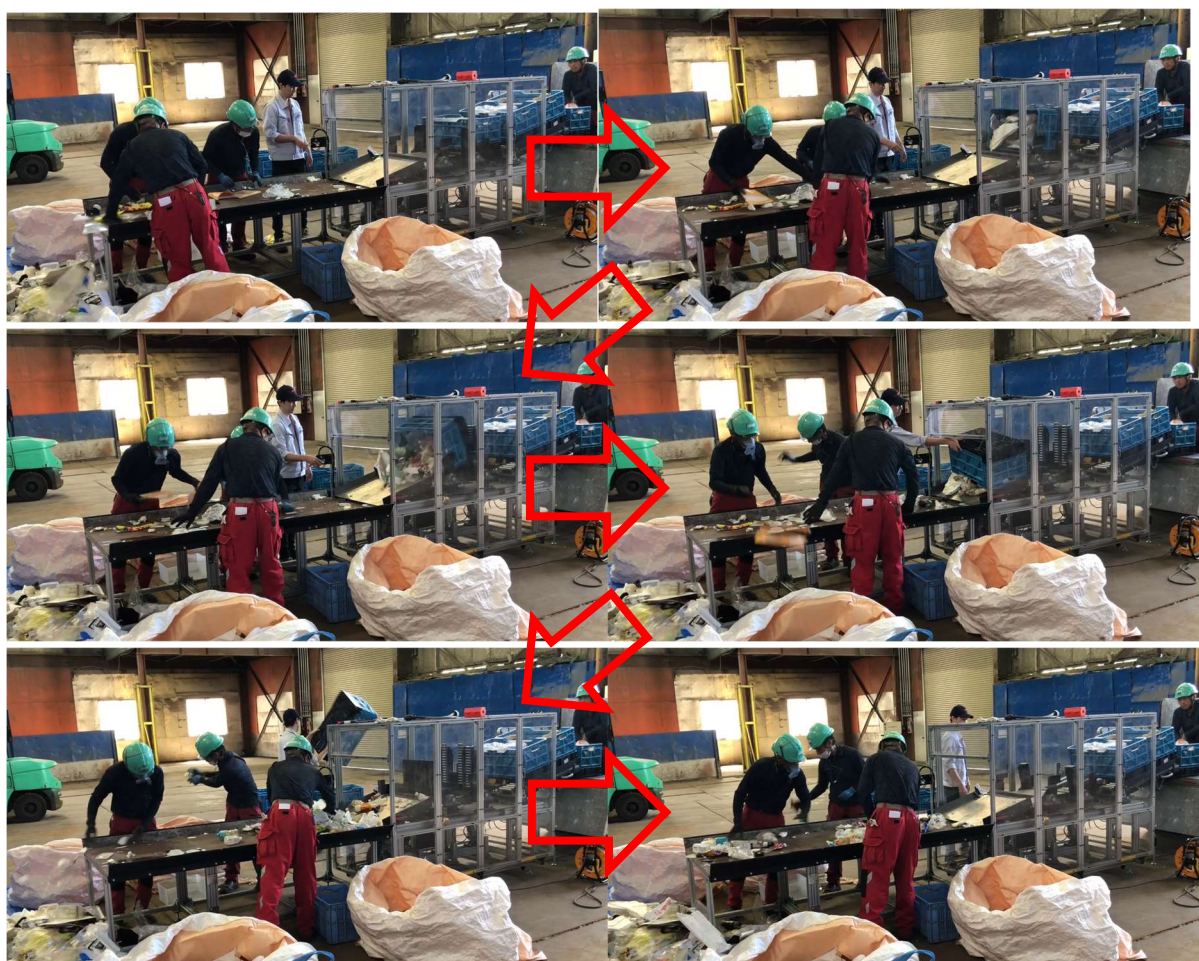


Before

After



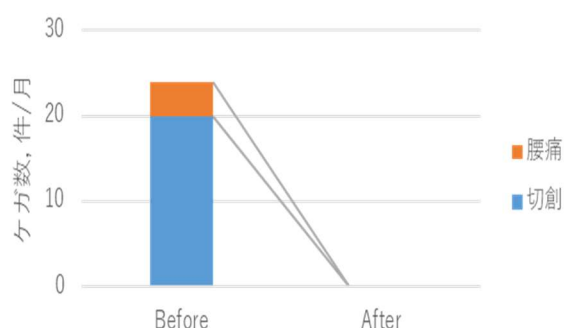
自動展開機導入による土間選別の流れ



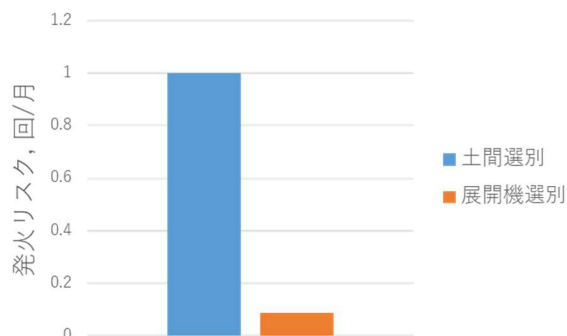
自動展開機導入によって、収集運搬車両から直接ベルトコンベアを介して専用の箱を展開、選別の流れを構築することができた。作業者の作業姿勢を見ると、従来の土間選別では腰をかがめしゃがんで作業していることが分かるが、箱展開機導入後は一定の高さで作業を続けることが可能になる。実証実験に参加した作業者からは、楽な姿勢で作業ができるとの評価を多く受けた。

自動展開機導入による事故発生件数の変化、発火リスクの変化をまとめたものが下図である。

自動展開機導入による事故発生件数の変化



発火リスクの変化



前項でも触れたように、従来の腰をかがめての作業姿勢から、一定の高さでの作業姿勢になるため、腰痛のリスクは大きく軽減できることが分かった。さらに、箱展開機では土間選別のようなカッターを用いた破袋の必要がなくなるため、切創が原因の事故は起こらないことが示された。

発火リスクの変化では、従来の土間選別では1回/月（＝1月/回）だったが、展開機導入後には0.08回/月（＝1年/回）へ減少した。発火リスクは12倍低減見込みである。選別率の比較でも分かった通り、箱展開機は特に危険物（リチウムイオン電池、バッテリー等）の選別に効果が見られた。選別作業に集中できる環境が構築されたことで、発火リスクの低減に繋がったと考えられる。

また、下図は自動展開機導入による作業速度の変化である。

自動展開機導入による作業速度の変化

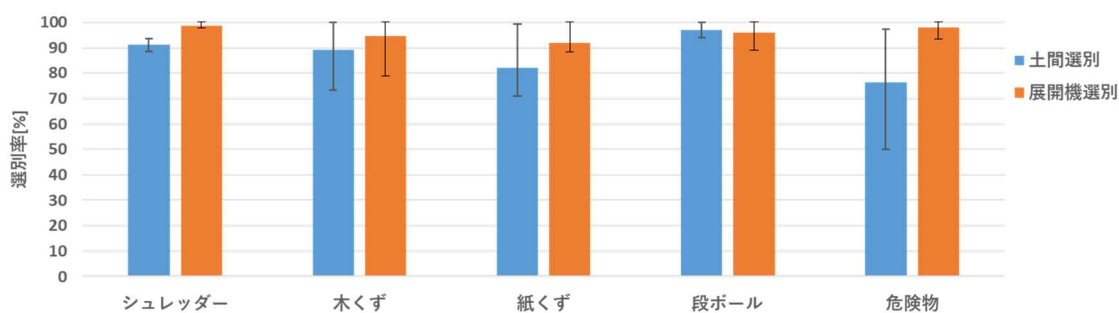


作業速度の変化では、導入前と比べ約10%作業速度が向上することが分かった。ベルトコンベアによる自動搬送、展開機構による自動展開によって、作業速度が上昇した。

さらに、これまでの土間選別との選別率を比較したのが下図である。箱展開機導入によって、選別率が5%~20%上昇することが分かった（段ボールに関しては、これまで段ボールの選別で手一杯だったが他品目の選別もできるようになり、段ボールの偏差が拡大したと考えられる。これは意識/慣れの問題が大きく、反復していくことで解決できると考えられる）。特に、危険物の選別度については大きく向上し、導入効果が見られた。

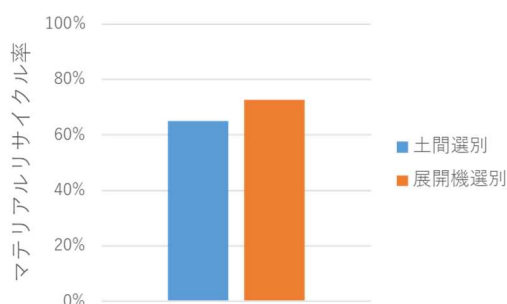
全品目で選別率が90%を超える結果となり、箱展開機導入によって選別作業に集中できる環境を構築できることが示された。一方

これまでの土間選別と箱展開機選別の選別率の比較



そして、箱展開機導入によるマテリアルリサイクル率の変化と発火リスクの変化をまとめたものが下図である。

マテリアルリサイクル率の変化



マテリアルリサイクル率の変化では、従来の土間選別では65%だったが、展開機導入後には70%へ向上した。マテリアルリサイクル率は5%増加見込みである。5%上昇したことで、当初に掲げた目標であるマテリアルリサイクル率の3%向上を達成することができた。各品目の選別精度が向上し、最終的なマテリアルリサイクル率にも影響を与えたと捉えられる。

4-2-4.考察と課題

自動展開機を開発し、東港金属にて実証実験を行った。自動展開機の導入によって、作業効率の大幅向上、事故発生の撲滅、危険物発見率の向上、そしてマテリアルリサイクル率の向上に繋がることが分かった。本設備は事業終了後も東港金属にて稼働予定である。

今後の課題は、本設備に使用した専用の箱の普及である。

専用の箱の例



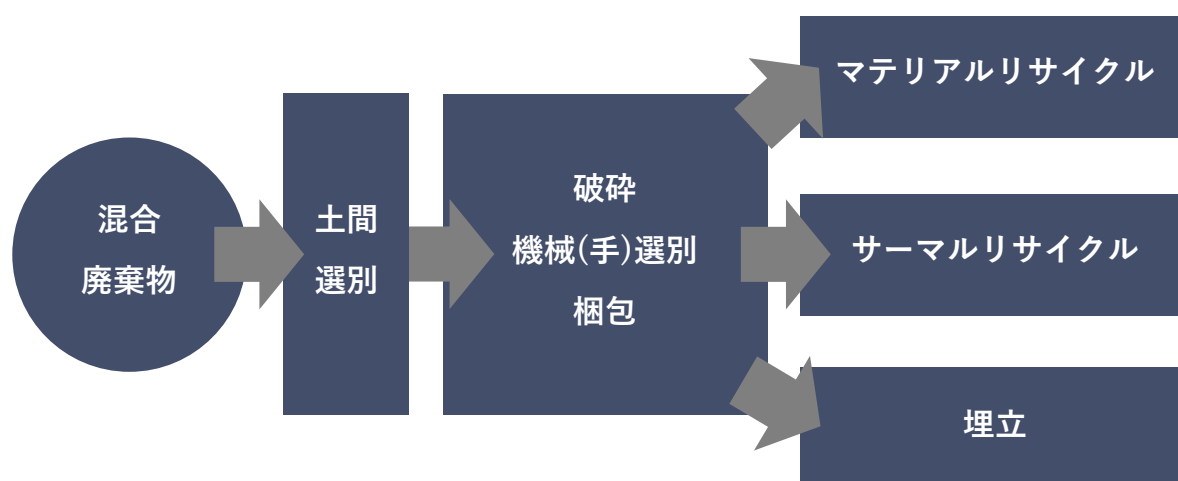
本設備は専用の箱を用い、展開、選別する設備である。排出事業者が排出事業場に箱を設置し廃棄物を保管、収集運搬業者が運搬、中間処理業者が本設備を用いて展開、排出事業者へ箱を戻すようなオペレーションが理想的である。このようなオペレーションが可能になれば、箱自体にデータを持たせトレーサビリティなどの副次的な効果の検証もできる。そのためは、排出事業者への箱の普及が必要である。本取組への理解を促すとともに、排出事業者へのメリットも提示しなければならない。

5.最後に

5-1.まとめ

本事業は、産業廃棄物処理工程における土間選別について、現状と問題を整理した上で、データ解析と設備開発の2軸で問題解決を図った。

産業廃棄物の中間処理施設には、いわゆる混合廃棄物の状態で搬入され、その後の処理工程において選別、回収を行い、マテリアルリサイクル、サーマルリサイクルができる状態へ処理を行う。



リサイクルを行うには、最初の工程である土間選別で異物をできる限り取り除くことが重要であることから、東港金属にて、土間選別の有無がリサイクル率へ与える影響を確認するための実証実験を行ったところ、土間選別ナシと土間選別アリの場合では、サーマルリサイクル率に約3倍の開きがあった。よって、土間選別の有無がリサイクル率に大きく寄与することが分かった。

データ解析では、骨格認証を用いた作業解析モデルを用いて東港金属と高俊興業にて作業解析を行い、各作業を分析した。作業平均時間とバラツキ、作業速度と作業動作の相関、作業動作と個人の相関、個人の品目適正をはじめ分析結果が得られ、破袋/展開に作業時間を要しており、課題になっていることが分かった。作業時間にバラつきも見られ、破袋/展開を効率化することでリサイクル率向上に繋がることを見出した。また、作業者ごとの各作業に対する適正の違いも見られた。東港金属の例では、破袋/展開において、金属/大物の取り扱いを苦手とする一方で、危険物や塩ビの選別は得意とする作業員がいることが確認できた。当該作業員を模範とすることで現場全体の作業効率向上に繋がることが期待できる。このように、従来の勘/コツ/経験による改善活動だけでは分らなかったことが分かり、現場

で適切な役割分担を再設定、また適正のある人の動きを基に現場でフィードバックを行う等の施策が可能になった。

上記のように、データ解析によって一定の改善が見込めることが分かったが、あくまで改善のプロセスであり、飛躍的なリサイクル率の向上、労働災害の撲滅には結びつかない。土間選別を変えるためには、従来の人の手による開梱から設備による開梱へ変える必要がある。このような考えから、自動破袋機と自動展開機の開発を行い、高俊興業と東港金属にて実証実験を行った。

東港金属/高俊興業いずれの事業者でも破袋/展開、しゃがむ/立ち上がる/歩くについて非効率かつ不安全性が確認されたため、「できるだけ破袋/展開を自動化」「できるだけ腰位置作業にしてしゃがむ/立ち上がる/歩くをなくす」必要がある。自動で袋のみを破袋し、立ち姿勢で作業を行うことができる設備の開発をコンセプトに、自動破袋機の開発を進めた。自動破袋機導入によって、事故発生件数が導入前は1か月あたり約50件あったものが導入後は0件になった。また、作業速度の高速化、危険物発見率の上昇に繋がった。そして、最終的な目標であるマテリアルリサイクル率の変化では、導入前は約90%だったが、導入後は約95%に上昇した。5%上昇したことで、当初に掲げた目標であるマテリアルリサイクル率の3%向上を達成することができた。腰痛や切創などの事故が起こりづらく、本来の選別作業に集中できる環境を整えることで、リサイクル率の上昇に繋がった。

データ解析、自動破袋機は搬入されてきた産業廃棄物をいかに効率良く処理するかという考えだったが、そもそも搬入される廃棄物は土のう袋をはじめ処理が難しい袋に梱包されている。袋そのものの在り方を変えることによって、リサイクルの高度化を図れるのではないかという仮説から、自動展開機の開発を行った。自動展開機では、従来の処理が難しい様々な袋に梱包されている状態から、それらの代替として専用箱による自動展開機を用いて選別するような仕組みへの転換を図った。自動展開機導入によって、事故発生件数の減少、発火リスクの減少、作業速度の高速化に繋がることが分かった。また、各品目の選別率が5%~20%上昇し、特に危険物の選別度については大きく向上し、導入効果が見られた。最終的なマテリアルリサイクル率の変化では、従来の土間選別では65%だったが、展開機導入後には70%へ向上した。マテリアルリサイクル率は5%増加見込みである。5%上昇したことで、当初に掲げた目標であるマテリアルリサイクル率の3%向上を達成することができた。各品目の選別精度が向上し、最終的なマテリアルリサイクル率にも影響を与える結果となった。

自動破袋機/自動展開機導入によって、本来の選別作業に集中できる環境を構築できリサイクル率の向上に繋がるが、両設備は異なるコンセプトのもと設計された設備であり、事業者の状況に応じて使い分けすることが望ましい。

5-2.今後の展望

本事業によって、現在の土間選別をデータ解析によって改善できると示した。また、自動破袋機・自動展開機を用いることで従来の土間選別の在り方を根本から変えることができ、リサイクル率向上、労働災害の撲滅に寄与できることが明らかになった。

今後、これらの取組を広く普及していくとともに、研究開発を継続することで更なる革新を土間選別にもたらししていきたい。土間選別の革新を追求することでリサイクルの向上に繋げ、更にはサーキュラーエコノミーに貢献していく所存である。