

令和 4 年度脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業

**電子基板及び自動車部品の未回収白金族
リサイクルシステム実証事業(その4)**

成果報告書

令和 5 年 3 月

株式会社アステック入江

要約

低炭素製品をはじめとする工業製品の性能向上や新規機能等のためには、プラチナ、パラジウム等の白金族金属（以下、「PGM」という）は必要不可欠な鉱種であり、低炭素製品等の普及に伴って PGM の需要量は増大する見込みである。一方で、PGM の供給量には限りがあることから PGM の資源確保が重要な社会課題となっているが、個々の製品や部品等に含まれる PGM の含有量が少ないものについては、その回収・リサイクルが経済的に成立しにくい状況にある。例えば、電子・電気機器に搭載される電子部品は、使用済み製品から電子基板とともに取り外され、電子部品に含まれる付加価値の高い金などは抽出・精製されているが、電子部品に含まれる PGM は精製時に回収できていない。他にも自動車部品では、排ガス触媒、着火プラグ、O₂ センサーなどに PGM が使用されており、PGM の供給源として期待されるが、排ガス触媒以外では効率的な回収・リサイクルの仕組みが未確立である。

そこで本事業では、既に構築されている電子基板の回収・リサイクルシステムに AI 画像認識選別システムを導入することで PGM が含有する電子部品の選別技術を、個別に回収が行われていない着火プラグ・O₂ センサーの回収方法・PGM 含有部位の分離技術を開発することで、PGM ターゲットのリサイクルシステムの構築を目指す。

PGM をターゲットにした場合、本システムを使いどの電子部品を選別することが効果的なのかを把握するために、電子部品の PGM 含有率を分析した。この結果、チップ抵抗、セラミックコンデンサにはパラジウムが、タンタルコンデンサもその名の通りタンタルが多く含まれていることがわかった。そこで、チップ抵抗・セラミックコンデンサをパラジウムターゲットグループ、タンタルコンデンサ単体をタンタルターゲットグループ、その他の貴金属ターゲットグループにわけることが最適と判断した。選別した電子部品のリユースについては、台湾企業へのヒアリングを実施し、CPU やメモリはリユースされていることを確認したが、その他の電子部品のリユース市場は確認できていない。

開発した AI 画像認識選別システムは、汎用品を組合せることで電子部品を列状にコンベアに流す機械的な仕組みを有し、コンベア上に流れる電子部品を画像認識し、ターゲットとする電子部品をエアブローで選別するシステムである。試作機の連続運転の際、ベルト汚れや誤認識等の課題が発生しており、これらの課題に対して安定的な選別のための検討を行った。連続運転時のベルト汚れについては、現状は定期的なベルト交換を行うことが必要であり、次号機的设计に交換の容易化を組み込む。

ビジネスモデルの DX 化の検討では、全国のリサイクルにおいて画像認識選別システムによる選別時に得られたデータをクラウド環境に集約し、さらに AI に画像を学習させる AI の高度化モデルを設計し、テスト拠点でのテストを終え、動作を確認している。クラウド環境と接続されていることを活用し、詰まりなどの異常を検知する仕組みとリモート対応できる運用体制を構築するため、ユーザー別の想定シーンを検討し、実装のための必要情報の洗い出しを行った。未回収貴金属の活用に関わる各ユーザーの希望を集約し、最適なターゲット部品の拡張と継続的なアップデートを提供するプラットフォームの完成に向けて構築を進めている。

事業性の評価について、AI 画像認識選別システムにおける導入規模を設定し、スケールメリットによる導入コストの低減を検討した。おおよそ 50 拠点以上の導入で、拠点当たりの導入コストは横ばいになることを確認した。

CO2 削減効果について、本事業のシナリオによって増加する金属回収量から本事業における CO2 削減効果について試算を行った。基盤 30t あたり 8.00 t-CO2 の削減効果が見込まれることが分かった。

金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討および出口戦略の検討について、各リサイクラおよび精錬メーカーにヒアリング調査を実施し、本システムへのニーズを確認した。各リサイクラおよび精錬メーカーの本システムへの関心は非常に高く、リサイクラ及び精錬メーカーとの連携による社会実装が今後期待出来るものであると判明した。

Summary

Platinum group metals (abbreviated as the "PGMs"), such as platinum and palladium are indispensable minerals for improving the performance and new functions of industrial products, including low-carbon products. The demand for PGMs is expected to increase with the spread of low-carbon products, etc. On the other hand, since the supply of PGMs is limited, securing PGM resources has become an important social issue, but it is difficult to economically recover and recycle PGMs when the content of PGMs in individual products and parts is small. For example, electronic components in electronic and electrical equipment are removed from end-of-life products along with their electronic substrates, and the high value-added gold and other metals contained in the electronic components are extracted and refined, but the PGMs contained in the electronic components are not recovered at the time of refining. PGMs are also used in other automotive parts, such as exhaust gas catalysts, ignition plugs, and O₂ sensors, and are expected to be a source of PGMs, but other than exhaust gas catalysts, an efficient recovery, and recycling mechanism has not yet been established.

Therefore, this project aims to establish a recycling system for PGM targets by introducing an AI image recognition and sorting system to the already-established recovery and recycling system for electronic substrates to develop a sorting technology for electronic parts containing PGMs, and by developing a recovery method and separation technology for parts containing PGMs for ignition plugs and O₂ sensors, which have not been recovered individually.

In order to understand which electronic parts are effective to be sorted using this system when PGMs are targeted, we analyzed the PGM content of electronic parts. As a result, we found that chip resistors and ceramic capacitors contain a large amount of palladium, and tantalum capacitors also contain a large amount of tantalum, as the name implies. Therefore, it was determined that it would be optimal to separate the chip resistors and ceramic capacitors into a palladium target group, the tantalum capacitors into a tantalum target group, and the other precious metal target groups. As for the reuse of the sorted electronic components, we conducted interviews with Taiwanese companies and confirmed that CPUs and memories are reused, but we have not been able to confirm the reuse market for other electronic components.

The AI image recognition and sorting system we developed is a mechanical system that uses generic parts to create a conveyor belt that arranges electronic components in a linear fashion. The system recognizes electronic components on the conveyor belt using image recognition and sorts the targeted components by blowing them away with compressed air. During continuous operation of the prototype, challenges such as belt contamination and misrecognition have arisen. We have conducted research to address these challenges to ensure stable sorting. Currently, regular belt replacement is necessary to address belt contamination during continuous operation, and the next model will incorporate easy belt replacement into its design.

In considering the digital transformation of our business model, we have aggregated data obtained during sorting by the image recognition system at recycling facilities across the country into a cloud environment. We have also designed an advanced AI model that uses the images to learn, completed testing at our test facility, and confirmed its operation. Leveraging the connection to the cloud environment, we have considered user scenarios and identified necessary information for implementation to establish a system to detect anomalies such as blockages and enable remote operation. We have aggregated the desires of each user regarding the use of unrecovered precious metals and are progressing the construction of a platform that provides the expansion of optimal target parts and continuous updates.

Regarding the evaluation of feasibility, we set the scale of introduction for the AI image recognition and sorting system and examined the reduction of implementation costs through economies of scale. We confirmed that the implementation cost per facility would remain flat with the introduction of approximately 50 or more facilities.

As for the CO₂ reduction effect, we calculated the effect of CO₂ reduction in this business by increasing the amount of metal recovered through the scenarios of this business. We found that there is an expected reduction effect of 8.00 t-CO₂ per 30 tons of board.

For the consideration of revitalizing the metal recycling business and the examination of export strategies, we conducted a hearing survey with each recycling facility and refining manufacturer to confirm their needs for this system. The interest of each recycling facility and refining manufacturer in this system is very high, and it has been revealed that social implementation through collaboration with recycling facilities and refining manufacturers can be expected in the future.

Keywords: Platinum group metals, Recycling systems, AI Image recognition

目次

I. 背景と目的.....	1
II. 事業実施内容	3
1. AI 画像認識選別システムによる電子部品の選別率の向上	3
1.1. 技術概要	3
1.1.1. 蒸気分離による電子部品の分離技術の概要	3
1.1.2. 塩化鉄による貴金属の濃縮処理技術の概要	4
1.1.3. プロセス全体の特徴.....	6
1.2. 昨年度までの成果概要	7
1.2.1. 選別対象とする部品分類の明確化.....	7
1.2.2. 効果的な部品選別方法の検討	8
1.2.3. 機械構造の改良によるシステム安定化の検討	11
1) 8mm より大きな電子部品に対応した篩一体型 AI 画像認識選別システムの開発 ..	11
2) 篩装置の開発	12
3) 各構成部位の改良点	13
1.2.4. AI 構造の高度化による認識率向上の検討	17
1) AI 画像認識選別処理を行う PC のスペック向上	18
2) 小型ラインの選別対象部品と選別率	18
3) 中型ラインの選別対象部品と選別率	19
4) 大型ラインの選別対象部品と選別率	20
1.2.5. 事業化に向けた課題・対応策	21
1) 多種多様な選別対象部品のボールフィーダへの供給安定化	21
2) 連続運転時の稼働安定化の向上.....	22
3) リサイクル工場の作業環境への対応	22
1.3. 多種多様な選別対象部品の安定的な選別の検討	23
1.3.1. 実証概要.....	23
1.3.2. ベルト材質についての検討.....	23
1.3.3. 選別ラインの汚れによる選別率への影響.....	24
1) 小ラインでの検証結果	24
2) 中ラインでの検証結果	30
3) 大ラインでの検証結果	32
4) AI 画像認識選別システムにおける現状の課題とその解決策.....	35
2. O2 センサー・着火プラグの回収スキームの検証とモデル構築.....	37
2.1. 技術概要	37

2.2.	昨年度までの成果概要	37
2.2.1.	効率的な分離技術の検討	37
2.2.2.	整備工場からの回収可能性の検討およびパイロット実証	40
2.2.3.	エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討および回収モデルの構築	44
1)	福祉連携スキームの構築・実証	45
2)	大手着火プラグメーカーとの協働	47
2.2.4.	事業化に向けた課題・対応策	47
3.	ビジネスモデルの DX に関する検討	48
3.1.	昨年度までの成果概要	48
3.1.1.	AI 画像認識選別システムの DX 事業モデル	48
3.1.2.	リサイクルのネットワークインフラ調査	49
3.1.3.	AI 画像認識選別システムの IT システムの設計・構築・テスト実証	50
1)	クラウド環境の設計・構築・テスト	50
2)	リサイクル拠点との連携テスト	52
3.1.4.	事業化に向けた課題・対応策	53
1)	IT システムを活用した運用性の向上	53
2)	多種多様な選別対象部品郡に応じた AI の効率的学習方法の確立	53
3.2.	IT システムを活用した運用性の向上および AI の効率的学習方法の確立	53
3.2.1.	実証概要	53
3.2.2.	DX のユースケース整理	53
4.	事業性の評価	56
4.1.	昨年度までの成果概要	56
4.1.1.	選別部品の利用用途拡大の検討	56
4.1.2.	PGM 含有率のばらつきの検討	57
4.1.3.	事業採算性の評価	58
1)	アステック入江を想定した事業採算性の評価	58
2)	設備投資を回収すると想定した場合の投資額の試算	59
3)	レターパック回収本数と収支	59
4)	Pt、Ir 含有量と収支	60
4.2.	事業拡大に伴う導入コストの低減や IT システム運用コスト低減の検討	60
4.2.1.	試算条件	61
4.2.2.	試算結果	61
5.	環境影響改善評価および CO2 排出量削減効果の評価	63
5.1.	インベントリ・バウンダリの考え方	63
5.1.1.	着火プラグ・O2 センサーのインベントリ・バウンダリ（図 75 参照）	63
1)	インベントリにおけるベースラインシナリオ：	63
2)	インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ：	63
3)	バウンダリの設定	63

5.1.2.	電子基板のインベントリ・バウンダリ（図 76 参照）	64
1)	インベントリにおけるベースラインシナリオ：	64
2)	インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ：	64
3)	バウンダリの設定	64
5.2.	昨年度までの CO2 削減効果の試算概要	65
5.2.1.	着火プラグ・O2 センサー（図 77 参照）	65
1)	評価の前提条件	65
2)	評価結果	66
3)	まとめ	67
5.2.2.	電子基板	68
1)	評価の前提条件（図 78 参照）	68
2)	ベースラインにおける混合部品の湿式精錬による CO2 排出量	68
3)	自動選別の電力消費にかかる CO2 排出量	68
4)	貴金属含有部品の湿式精錬による CO2 排出量	69
5)	まとめ	69
5.3.	事業における環境影響改善効果および CO2 排出量削減効果の評価	69
5.3.1.	インベントリ・バウンダリ	69
1)	インベントリにおけるベースラインシナリオ	69
2)	インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ	69
3)	バウンダリの設定	69
5.3.2.	評価の前提条件	69
1)	ベースラインシナリオにおける金属含有量	69
2)	本事業のシナリオにおける金属回収量	70
3)	自動選別の消費電力量	70
5.3.3.	CO2 削減量の評価	70
1)	回収した金属のリサイクルによる CO2 削減量	70
2)	自動選別の消費電力量による CO2 排出量	71
3)	本事業による CO2 削減効果	71
6.	金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討及び出口戦略の検討	72
6.1.	精錬会社のニーズおよびリサイクルの導入意向調査	72
6.2.	想定するビジネスモデル	74
6.3.	システム導入による経済効果算出	75
III.	おわりに	77
	（参考）令和 4 年度特許権、学会発表等の状況	79
	（参考文献）	80

I. 背景と目的

低炭素製品をはじめとする工業製品の性能向上や新規機能等のためには、プラチナ、パラジウム等の白金族金属（以下、「PGM」という）は必要不可欠な鉱種であり、低炭素製品等の普及に伴って PGM の需要量は増大する見込みである。一方で PGM の供給量には限りがあるため、PGM の資源確保が重要な社会課題となっているが、個々の製品や部品等に含まれる PGM の含有量が少ないものについては、その回収・リサイクルが経済的に成立しにくい状況にある。

さまざまな電子・電気機器に搭載される電子部品は、使用済み製品から電子基板とともに取り外され、電子部品に含まれる付加価値の高い金などが抽出・精製されているが、電子部品に含まれる PGM は精製時に回収できていない。また自動車部品では、排ガス触媒、着火プラグ、O₂ センサーなどに PGM が使用されており、PGM の供給源として期待されるが、排ガス触媒以外では効率的な回収・リサイクルの仕組みが未確立である。

本事業は、PGM 等の貴金属の供給源確保に向けて、電子部品と自動車部品を対象に、回収・選別・濃縮等の技術・システムに関わる検証を目的とする。本目的の達成に向け、図 1 に示す通り、本事業では以下の項目を実施する。

- (1) AI画像認識選別システムによる電子部品からのPGM含有部品の選別率の向上
 - ① 多種多様な選別対象部品の安定的な選別の検討
- (2) O₂センサー・着火プラグの回収スキームの検証とモデル構築
- (3) ビジネスモデルのデジタルトランスフォーメーション（以下、「DX」という。）に関する検討
 - ① ITシステムを活用した運用性の向上
 - ② 多種多様な選別対象部品群に応じたAIの効率的学習方法の確立
- (4) 事業性の評価
- (5) 事業における環境影響改善効果、CO₂排出量削減効果の評価
- (6) 事業における金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討、出口戦略の検討

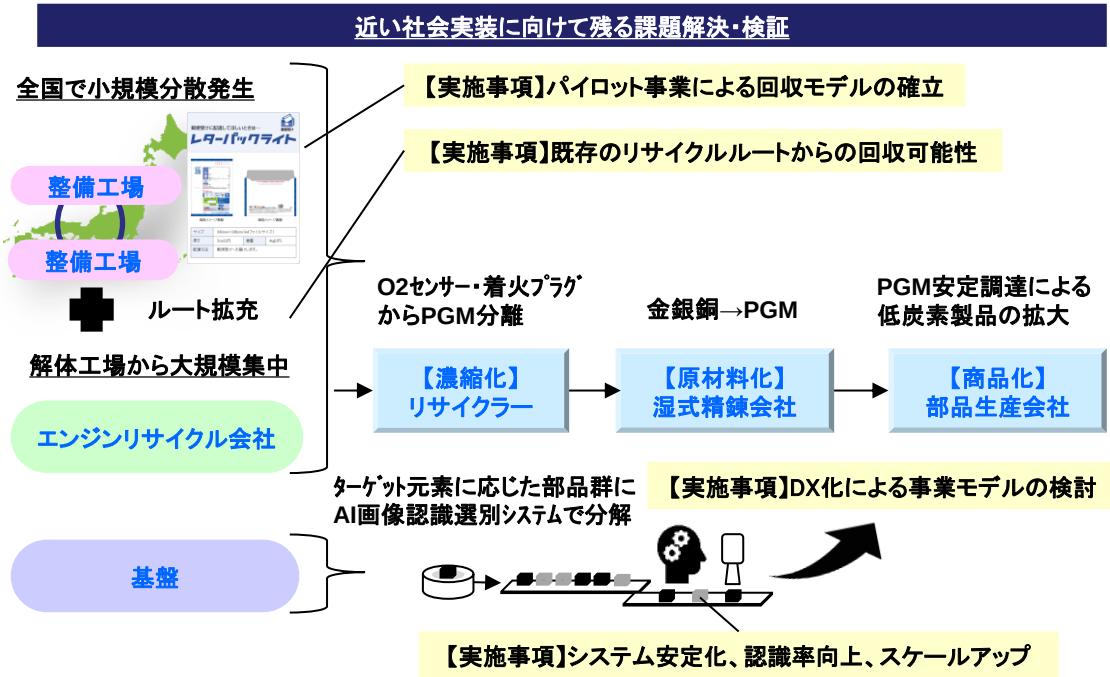


図 1 本事業の実施項目

II. 事業実施内容

1. AI 画像認識選別システムによる電子部品の選別率の向上

1.1. 技術概要

パソコン等の種々の電子機器に含まれる電子基板の一般的なリサイクルは、前処理として破碎した後、金や銀の原料として乾式精錬所に出荷されるものである。このとき、電子基板に含まれる PGM は、含有濃度が低いために、資源性、経済性の両面からリサイクルされていない現状がある。こうした状況を打開するため、一般的な電子基板リサイクル業者では、PGM として評価してもらうための破碎の仕方や基板選別の方法について検討が行われている。しかし、PGM の一つである Pd は電子基板での含有濃度が 0.001% 前後であり、資源評価される濃度レベルではないため、PGM を資源として評価してもらえるまでには至っていない現状がある。

図 2 に株式会社アステック入江（以下、「アステック入江」という。）における電子基板のリサイクルフローを示す。このリサイクルプロセスの特徴は、「蒸気分離による電子部品の分離」と「塩化鉄による貴金属の濃縮処理」を組み合わせている点である。ここで、それぞれの技術の概要を記載した上で、プロセス全体の特徴を記載する。

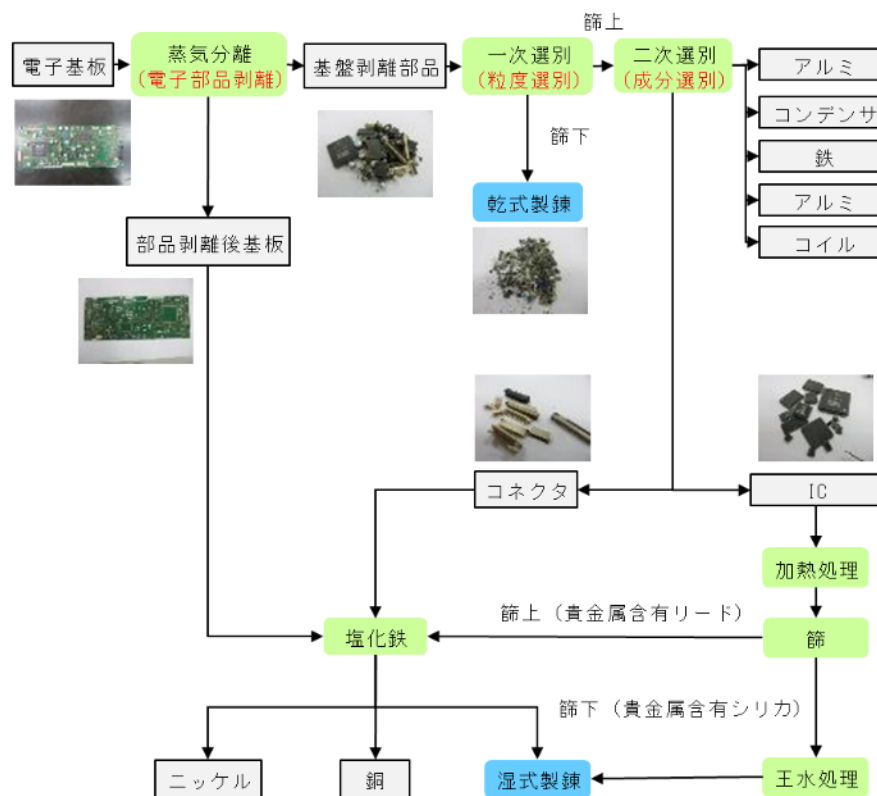


図 2 アステック入江の電子基板リサイクルフロー

1.1.1. 蒸気分離による電子部品の分離技術の概要

電子基板に搭載されている電子部品は、基板上にはんだ付けされることで搭載されている。ア

ステック入江のプロセスでは、図 3 に示す通り過熱水蒸気を使ってはんだを効率的に溶かすことで電子部品を分離することができる。ここで使われる過熱水蒸気は、飽和水蒸気を更に 100℃以上に加熱することで得られる水蒸気であり、熱効率が高く、同温度の空気雰囲気よりも 5 倍程度高いものである。

この分離技術により、図 4 に示す通り、種々の電子部品を破碎することなく基板から分離できるため、分離後に電子部品を選別することにより、それぞれの電子部品が持っている資源ソースを最大限に引き出せるプロセスとなっている。

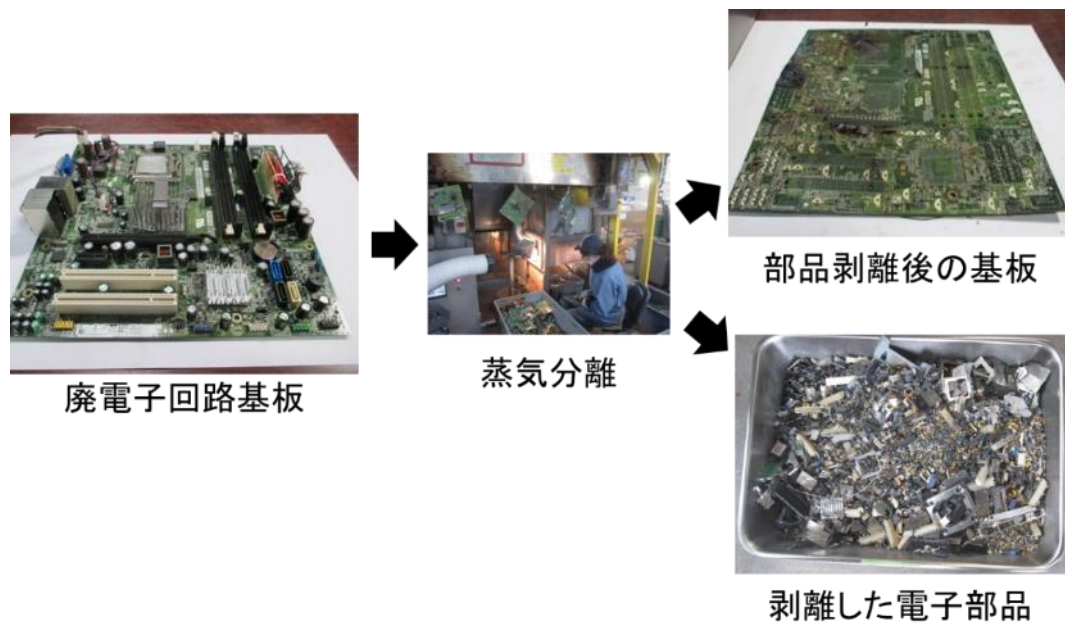


図 3 蒸気分離技術による電子部品の分離



図 4 蒸気分離後の電子部品

1.1.2. 塩化鉄による貴金属の濃縮処理技術の概要

塩化鉄は化学的に大別すると、塩化鉄（Ⅱ）と塩化鉄（Ⅲ）の 2 種類になる。このうち、塩化

鉄（Ⅲ）は腐食作用の特徴を持っており、塩化鉄（Ⅲ）溶液はその腐食作用を利用した表面加工技術（以下、「エッチング」という。）の分野で、主に図 5 に示す半導体部品であるリードフレームと呼ばれる部品を製造する際に使用されている。

エッチングで使用済となった、塩化鉄（Ⅲ）溶解液（以下、「エッチング廃液」という。）には材料成分の銅やニッケル、鉄がエッチング廃液中に溶け込んだ状態となっている。アステック入江では、図 6 に示す通り、そのエッチング廃液中に含まれる銅やニッケルといった金属成分を還元回収することで、エッチング廃液をリサイクルし、塩化鉄（Ⅱ）溶液や塩化鉄（Ⅲ）溶液を販売している。

アステック入江では、従来技術として保有している塩化鉄リサイクル技術を活用して、貴金属リサイクルを行っている。塩化鉄（Ⅲ）は先述したように、銅やニッケル、鉄といった金属は溶解することができるが、貴金属、特に金は溶解しない。この性質を活用して、図 7 に示す通り、蒸気分離により回収した電子部品中に含有している貴金属を、塩化鉄（Ⅲ）を使って回収している。

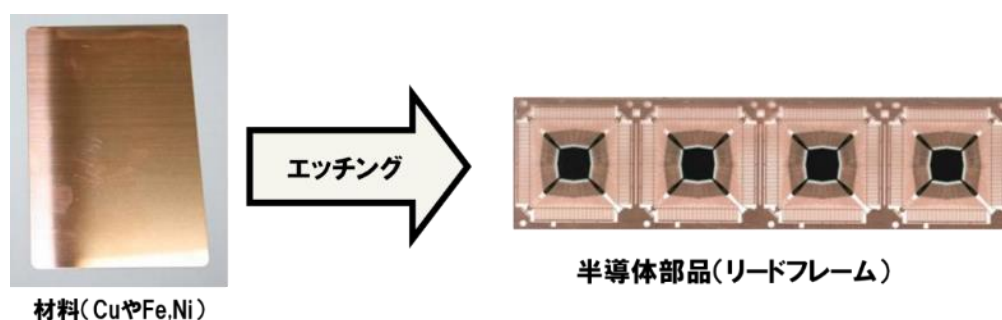


図 5 半導体部品製造におけるエッチング加工における塩化鉄溶液の使用

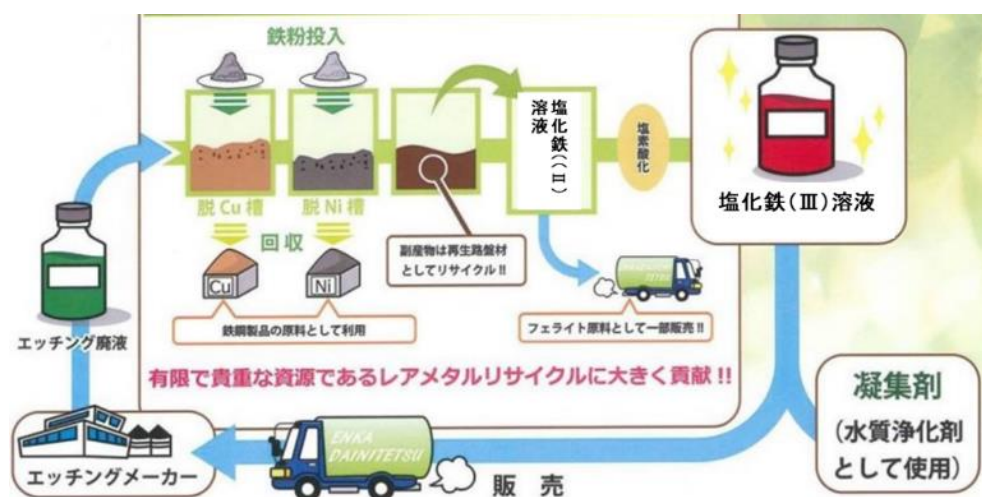


図 6 エッチング廃液のリサイクルフローの概要



図 7 塩化鉄（Ⅲ）を使用した貴金属の回収

1.1.3. プロセス全体の特徴

この蒸気分離による電子部品の分離技術と塩化鉄による貴金属の濃縮処理技術を組み合わせることで、一般的ナリサイクルプロセスよりも高濃度な貴金属回収を実現している。表 1 に、一般的ナリサイクルプロセスとアステック入江のプロセスの比較を示した。

一般的ナリサイクルでは、破碎プロセスが主流であり、発塵による飛散ロスや電子基板に対して微量な含有である PGM 含有電子部品が濃縮されないため、金、銀、銅の資源評価で留まることがほとんどであり、パラジウムの様な PGM は資源評価されにくい現状がある。一方、アステック入江のリサイクルでは、蒸気分離により種々の電子部品を破碎せずに分離できるため、分離された電子部品を選別することで、PGM 含有部品も回収でき、現状ではパラジウムとして精錬業者が資源評価できる状態となっている。しかし、電子部品を手選別で PGM をターゲットとして濃縮しきれていないために、微量のパラジウムが評価されているだけにとどまっている。

表 1 一般的な電子基板リサイクルとの比較

一般的なリサイクル	アステック入江でのリサイクル
 	  
・破砕処理が主流であり、資源評価は金、銀、銅、パラジウムが主である。 ・電子部品が混ざり、微量な PGM（特にルテニウム）は検出されない。 ・発塵による飛散ロスがある。 ・電子基板から部品剥離して、部品選別する研究は行われているが、対象が限定的であり、実用化までは至っていない。 ・ルテニウムの実例は確認されない。	・あらゆる電子基板を対象に電子部品を破砕せずに回収することができ、実用化している。 ・電子部品として回収できることで、金、銀、銅、パラジウム以外のルテニウムといった PGM 含有部品も選択的に回収でき、新たな金属の付加価値産出が見込める。 ・リユース部品としての可能性が見込める。

1.2. 昨年度までの成果概要

1.2.1. 選別対象とする部品分類の明確化

本事業で対象とする電子基板は、アステック入江が現在回収しているサーバーやパソコン、複写機に搭載されているものとした。基板に使われているさまざまな電子部品のうち、PGM 等が多く含まれている電子部品は選別されないまま、未回収となっていることから、蒸気分離技術により電子基板から分離した電子部品を用途が近い部品グループごとに組成分析し、PGM 等の含有量を基に選別対象とする部品類を検討し、整理した。

既存文献（平成 19 年度エネルギー使用合理化技術開発希少金属等効率回収システムの開発事業成果報告書）から部品ごとの PGM 含有量を事前調査し、PGM が含有されていると想定される電子部品について ICP 分析を実施した。表 1、表 2 に示す分析結果から、3～7mm 及び 2mm 以下の電子部品には PGM が含有していることを確認するとともに、選別対象とする電子部品を PGM の観点からセラミックコンデンサとチップ抵抗、金の高含有電子部品として IC チップ、部品リユースの観点からタンタルコンデンサに絞り込むこととした。

表 2 3～7mm のターゲットした電子部品及び-2mm 電子部品の分析結果 (mg/kg-部品)

定義部品名	金	銀	パラジウム	ルテニウム	タンタル
セラミックコンデンサ	-	20,000	3,500	-	-
チップ抵抗	-	16,400	1,000	490	-
IC チップ	2,000	6,300	-	-	-
水晶振動子	200	1,600	-	-	-
タンタルコンデンサ①	-	5,000	10 未満	-	250,000
タンタルコンデンサ②	-	-	-	-	410,000
-2mm	300	5,400	250	100	-

昨年度は、事業化に向けた課題として、分析していない電子部品を追加分析し、PGM ターゲットで選別できる電子部品を検討することを挙げた。また、PGM をターゲットとした選別において、3～7mm の電子部品を対象に選別を実施していくことになるが、その中にはアルミコンデンサが含まれている。アルミコンデンサは精錬時の忌避部品とされているため、選別除去することで資源価値の向上を図りつつ、選別後のアルミコンデンサを脱酸剤として用途開発することを課題として挙げた。

1.2.2. 効果的な部品選別方法の検討

基板より分離した電子部品を、1.2.1 の検討結果を踏まえ、風力選別等既存の選別方法を用いた選別を行うとともに、更に画像認識等の新たな選別技術との組み合わせによる高度な選別プロセスについて検証し、整理した。

電子部品を選別するにあたり、「人の目」の代わりとして「AI を用いた画像認識」を、「人の手」の代わりとして「エアブローによる選別」を導入した「AI 画像認識選別システム」を開発した。AI 画像認識選別システムの全体写真を図 8 に、部品選別フローを図 9 にそれぞれ示す。

基板から剥離された電子部品は、篩選別機により異なる粒度帯に分けられた後、ボールフィーダ及び直進フィーダを通過する中で塊にならないように整列される。整列された電子部品は直進フィーダと速度差のあるベルトコンベアを流れ、電子部品間の間隔を保持した状態で 1 個ずつ後述の AI 画像認識用のカメラ下に搬送されることを実現した。

エアブロー用の高速タイプ電磁弁の使用、コンベア制御の PLC プログラムの改良により、大規模リサイクルにおける処理量を想定した処理能力 0.1 秒/個のコンベアスピードで搬送が可能となった。

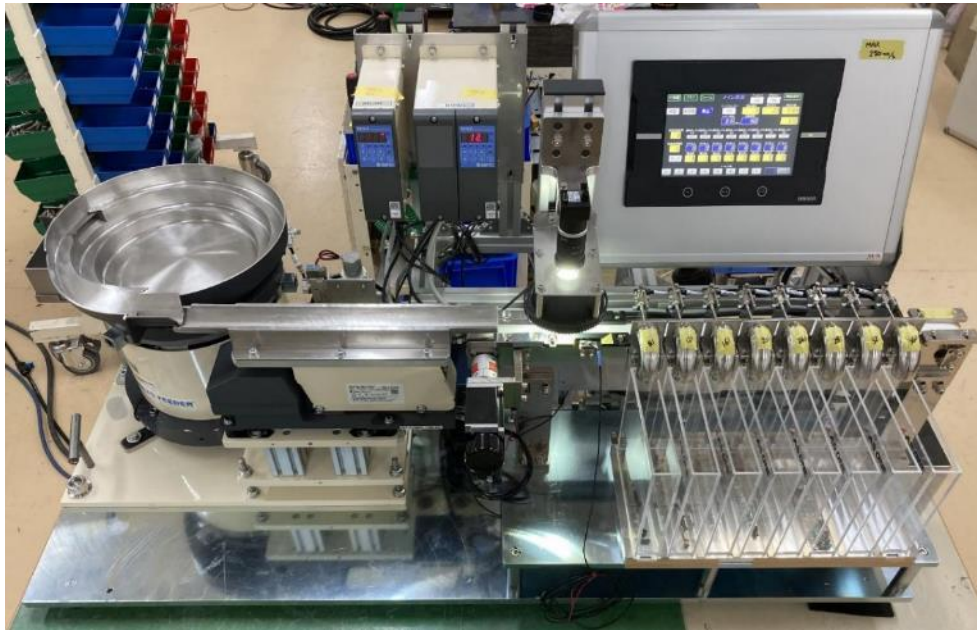


図 8 AI 画像認識選別システム全体図

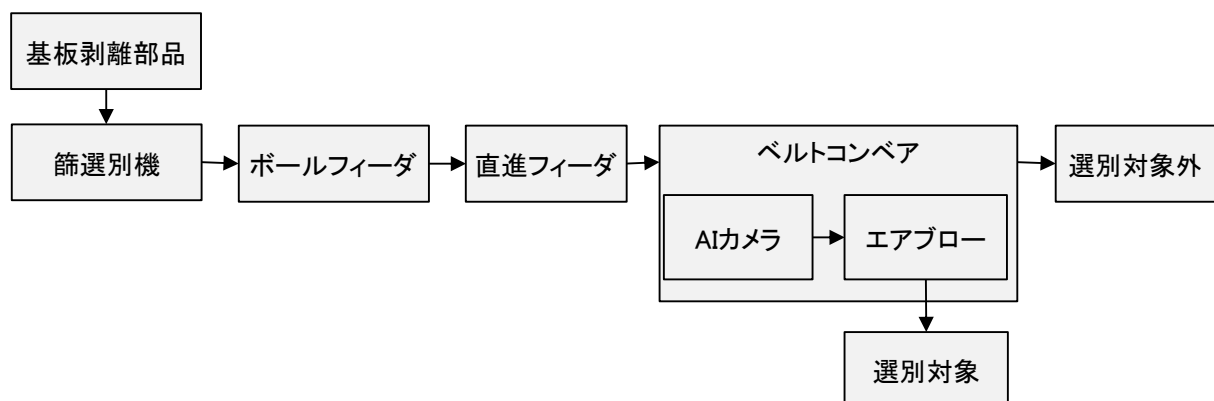


図 9 選別機による部品選別フロー

ベルトコンベア上に設置したカメラ（本事業では Web カメラを使用）で撮影された電子部品画像は二値化（部品のある黒い場所と部品のない白い場所に判断する）した後、黒い部品の場所を検出し、カメラ撮影で取得した画像と合わせて、個別に部品の切り出しが行われる。図 10 に、そのアルゴリズムを示す。

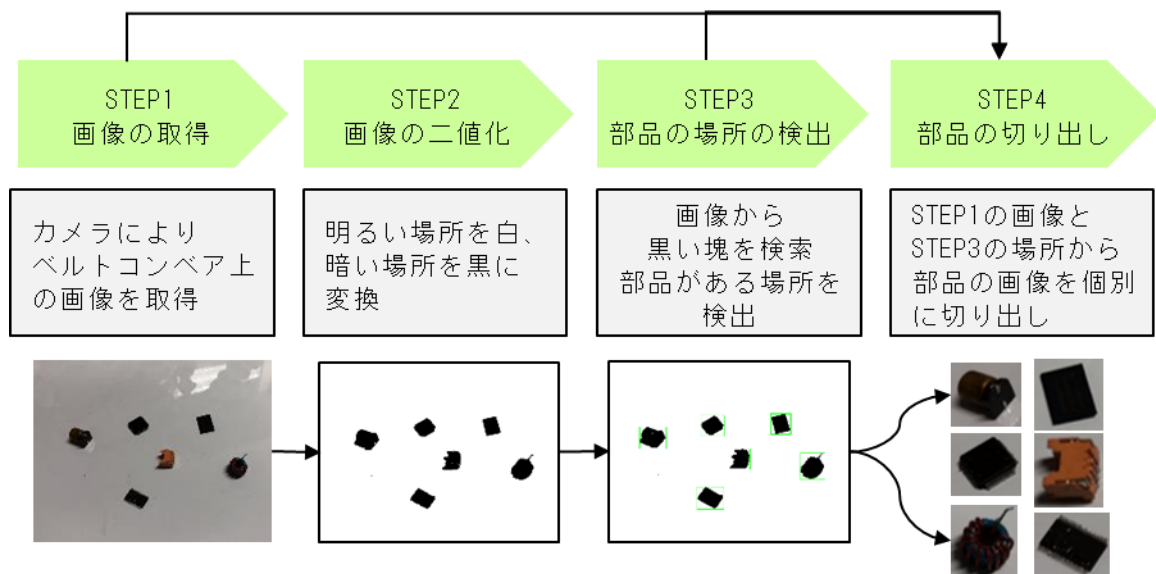


図 10 部品検出のアルゴリズム

切り出された電子部品の画像について、予め部品名称とともに画像学習させた情報をもとに、AIによりその部品が何であるか推定される。AIでその部品が何であるかを特定し認識した時は、図 11 に示す通り、エアーの出力信号を送信し、選別機にセットしているエアブローを作動させて、認識した電子部品を吹き落として選別する仕組みである。

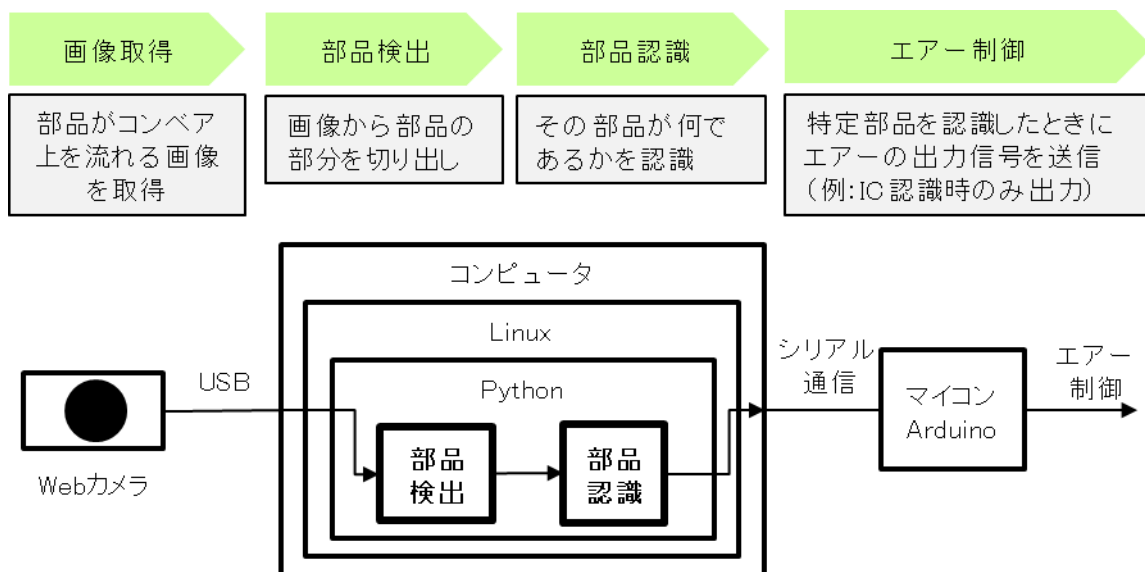


図 11 AIによる部品認識とエアブローによる部品選別

投入されたある電子部品総数の内、AI画像認識選別システムにより正しく選別された個数の割合を「選別率」、カメラに認識されない個数の割合を「未認識率」と定義し、図 8 の試作機にて選別率のテストを実施した。この際、さまざまな電子部品 720 個を AI 画像認識選別システムに投入し、処理スピードは本事業の目標スピードである 0.1 秒/個とした。テストの結果を図 12 に示す。チップ抵抗を除いて選別率は目標である 90%前後を達成した。しかし、チップ抵抗は選別率が 40%と低く、カメラで認識できていない比率（未認識率）が 40%程度となっている。これは、

チップ抵抗の裏面が白色であり、裏面で搬送されてきた場合にコンベアの白色と同色のため、カメラで認識されないことが原因である。

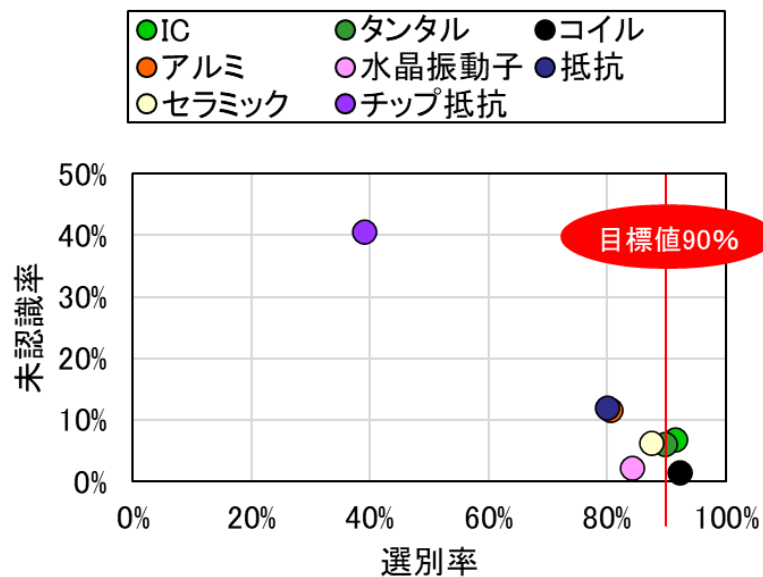


図 12 選別率テスト結果

1.2.3. 機械構造の改良によるシステム安定化の検討

1) 8mm より大きな電子部品に対応した篩一体型 AI 画像認識選別システムの開発

令和2年度は、3mm～7mm 粒度帯の電子部品のみを対象とした1ラインの試作機を作成した。昨年度実証では、8mm より大きな電子部品に対応するために、図 13 に示す篩装置と一体となった3ラインの粒度帯に対応した AI 画像認識選別システム試作機を開発した。篩装置の左端に蒸気分離した電子部品群を投入すると、細かい粒度帯から順に篩選別される。篩選別された部品はパーツフィーダのボールフィーダへと供給され、振動により自動的に AI カメラ下まで搬送される。学習済みの電子部品と AI による画像選別で認識された電子部品は、部品ごとのボックスへとエアブローにより振り分けられる。

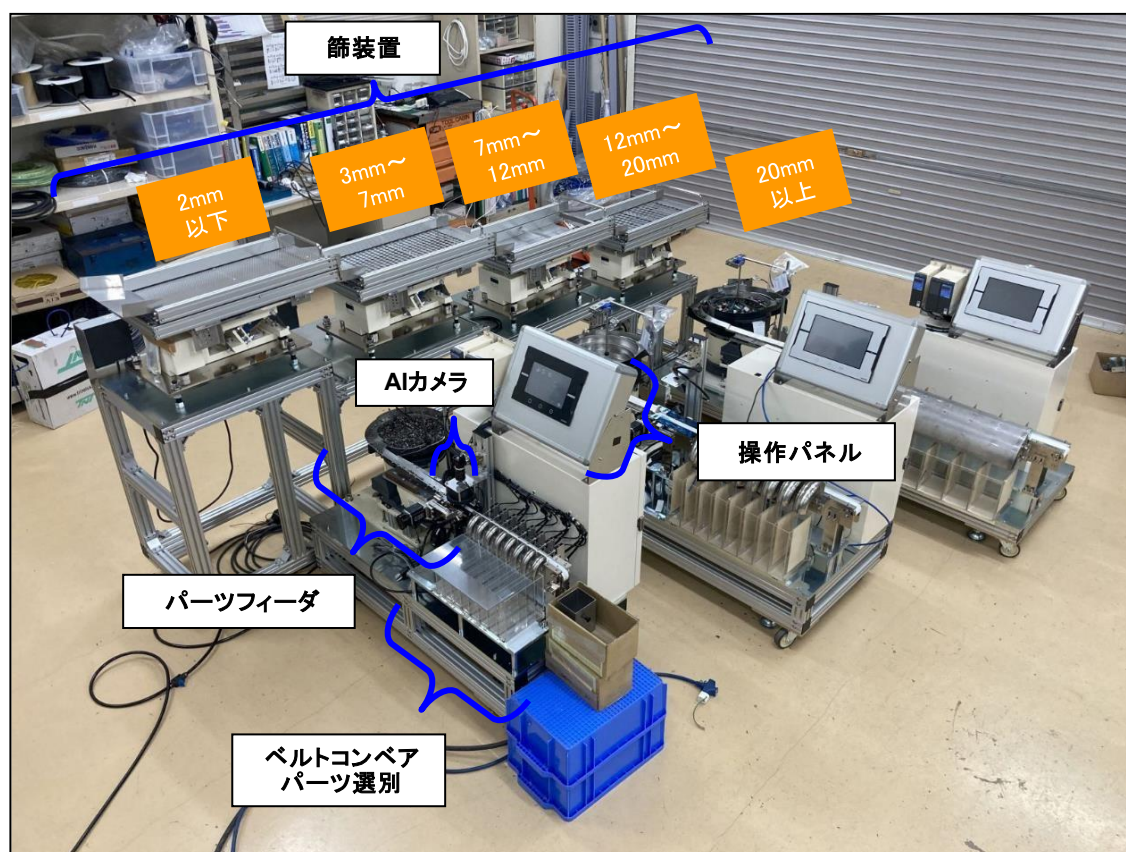


図 13 篩装置一体型の AI 画像認識選別システム

2) 篩装置の開発

令和 2 年度は 1 ラインのみの AI 画像認識選別システム試作機を作成したが、昨年度は 3 つの粒度帯に対応した 3 ラインの AI 画像認識選別システムを作成した。各ラインに電子部品を投入する前段階として、粒度帯ごとに電子部品を篩選別する必要があり、図 14 の篩装置を開発した。篩装置上部に基板剥離後の電子部品を投入し、小さい粒度帯のものから順次篩にかけられ、AI 画像認識選別システムの各ラインに投入されていく。ここで、基板剥離後の電子部品中には、薄い半田クズや細長いリードなどの非選別対象部品が含まれており、これらが AI 画像認識選別システムへと投入されると、コンベア詰まりを引き起こすおそれがある。これを避けるため、図 15 に示す櫛歯を追加し、篩選別の段階で悪影響を及ぼす部品を除去するように改良を施した。



図 14 篩装置全景

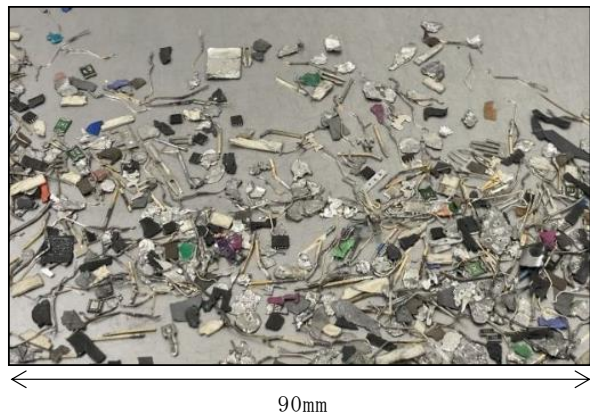


図 15 篩間櫛歯の追加（左）と櫛歯除去結果（右）

3) 各構成部位の改良点

ここから、AI 画像認識システムを構成する各構成部位の改良点について述べる。令和 2 年度実証までで、カメラ下に安定的に電子部品を搬送できれば、AI による画像認識率が高く、エアブロータイミングも調整しやすく、選別率が高くなることがわかっており、主たる課題を「カメラ下に安定的に電子部品を流すこと」とした。

ボールフィーダは、篩選別された電子部品が初めに供給される構成部位である。供給量が多い場合、ボールフィーダから溢れてしまうことが想定される。これを防ぐため、図 16 に示すようにボールフィーダ表面付近に振り子の先端を垂らしておき、振り子の先端に電子部品が干渉することでボールフィーダ内電子部品量を検知できるようにした。部品量が多いと振動数が低下してしまい、搬送速度が遅くなる問題があったが、それを検知した場合には振動数を上げる対応をとることで搬送速度の低下を解消した。また、溢れ出そうなときには篩からの供給先を一時保管用トレイに切り替え、ボールフィーダにはそれ以上供給されないようにした。

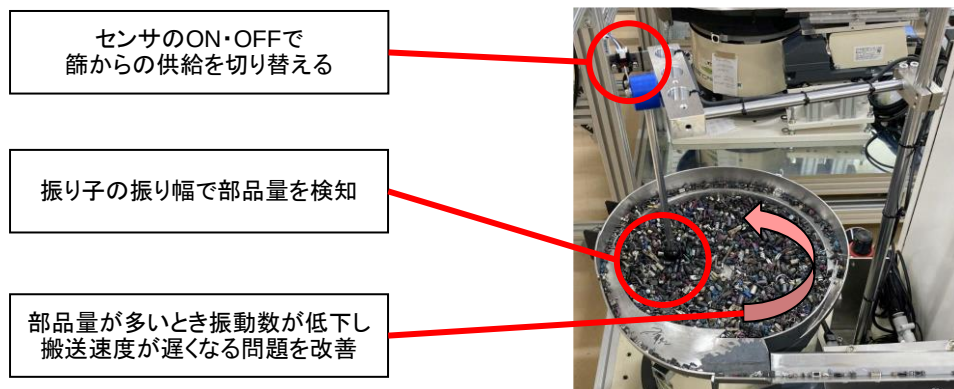


図 16 ボールフィーダの改良点

直進フィーダは、ボールフィーダから搬入された部品をコンベアまで搬送する構成部位である。直進フィーダ上で電子部品が重なったまま搬送された結果、その後のカメラ撮影時に複数部品がまとめて撮影されてしまい、正常に選別されない課題があった。この課題に対し、直進フィーダの前半では大きい振動数で搬送することで部品の重なりを解消し、後半では小さい振動数で安定してコンベアへ排出するよう改良した。



図 17 直進フィーダの振動数差

コンベアは、直進フィーダから搬入された部品を画像認識させるためのカメラおよびエアブローまで搬送する構成部品である。ベルトの跳ねにより、電子部品も跳ねてしまい、カメラ下まで等間隔に搬送できなくなる課題があった。これに対し、図 18 に示すように、ベルトと両脇のガイドの隙間をなくすことでベルトの跳ねを抑え、電子部品の跳ねが発生しないように改良した。

また、コンベアのベルトに汚れが付着した場合、カメラが汚れを電子部品であると誤認識してしまい、選別率が低下する原因になる。これを防ぐため、ベルトの材質をフッ素加工された汚れの付着し難いものへと変更した。

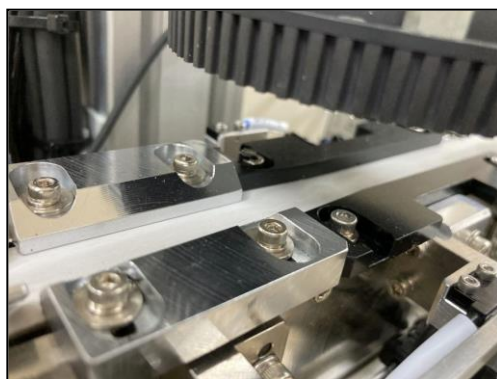


図 18 コンベアのガイド

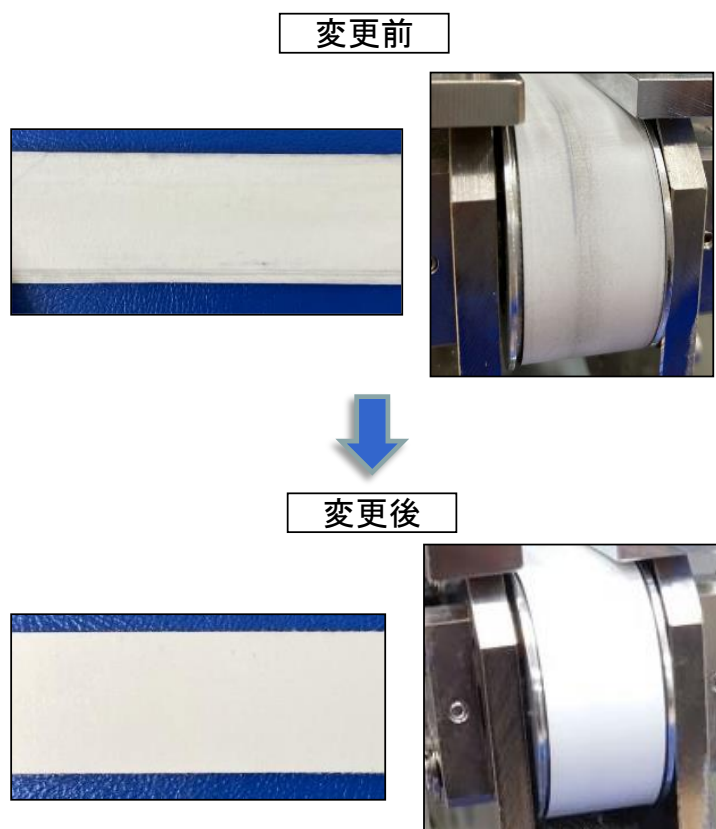


図 19 コンベアのベルト変更（160 時間程度稼働後の状態）

搬送される電子部品をカメラで捉えるタイミングは、その後のエアブロー噴射までの距離計算に影響するため、安定かつ正確であることが求められる。従来の方法では、カメラの直下に電子部品が来たことをカメラで判別して撮影していたが、光電センサを使用して撮影する方式に変更し、タイミングの安定性を得た。図 20 に示すように、コンベアを流れる電子部品の進行方向に対し、横切るように光電センサ光軸を設定する。この光軸に電子部品が差し掛かったタイミングをカメラトリガーとし、固定された検査エリアを対象に AI 選別処理を行うようにしている。この方式をとることにより、カメラトリガーのタイミングが安定し、エアブローまでの距離を正確に計算することができるため、排出エアのズレをなくすことができた。さらに、検査エリアを固定できるため AI の処理高速化と判別の安定化も達成できた。

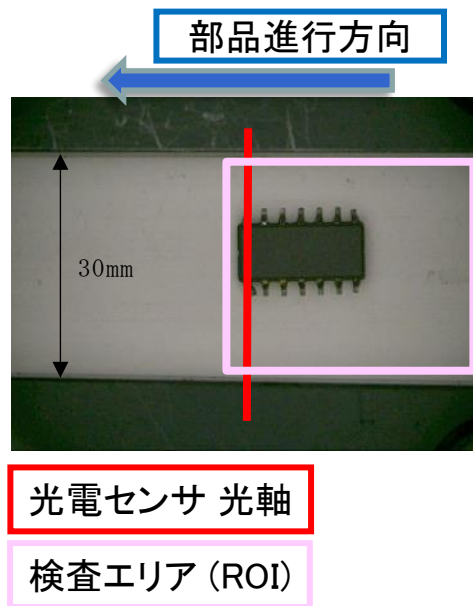


図 20 光電センサを使用した撮影方法

コンベアのスPEEDを、大規模リサイクルの処理量に合わせた目標値である 0.1 秒/個を満たす 500mm/s としたとき、高速で搬送される電子部品に対し、正確にエアブローを噴射しなければならない。そのため、図 21 に示すように、AI で選別した結果を対応したボックスのエアブローへと伝える PLC (Programmable Logic Controller) を高速タイプへと交換し、入力信号を高速化した。さらに、エアブローの電磁弁も高速タイプのものへと交換し、PLC から伝わる入力信号への反応を高速化させた。

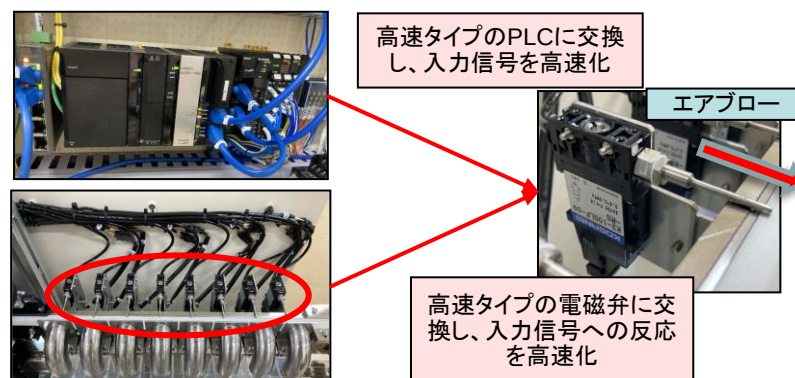


図 21 エアブロー応答の高速化

AI 画像選別された部品は、適切な選別ボックスに対応したエアブローの噴射により選別ボックス内に投下される。このとき、従来の丸形のシュート入り口の場合、電子部品が縁に当たり跳ね返ってしまい、狙った選別ボックス内に投下されない課題があった。また、選別ボックスに入っても、ボックス内の壁面に当たり跳ね返ってしまい、ボックス外に飛び出してしまったことがあった。これらの課題に対し、図 22 に示すように、シュートの入口を丸穴より大きい四角穴にすることで、縁に当たる電子部品数を軽減するとともに、塩ビパネルでコンベア・シュート内

部に蓋をすることで、確実に選別ボックス内へ部品を排出するように改良した。

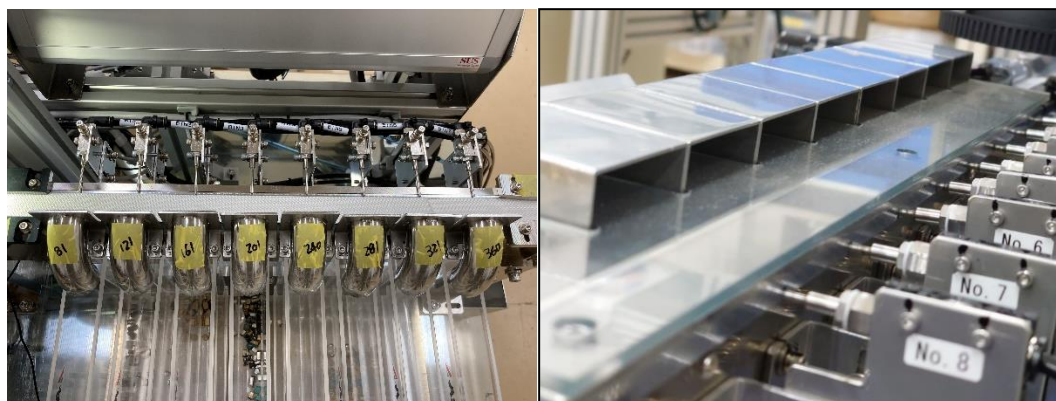


図 22 シュート入口の形状変更とコンベア・シュート内部の蓋（左：改善前、右：改善後）

1.2.4. AI 構造の高度化による認識率向上の検討

令和 2 年度の混入率テストの結果は図 23 に示す通りであり、いずれの部品も混入率は 10% 程度以下であった。ここで、「混入率」とは、ある選別対象部品の総数の内、その選別部品に対応した選別ボックスとは異なる選別ボックスに混入する電子部品の割合と定義している。特に水晶振動子、抵抗については誤認識による他部品の混入がまったくない状況であった。取引条件が厳しいタンタルコンデンサへの混入率を除いてビジネス上は問題がない範囲であることを確認している。昨年度は、令和 2 年度実証で対象としていた 3mm～7mm 角粒度帯の小型電子部品に加え、7mm～12mm の中型部品、12mm～20mm の大型部品も選別対象とした開発を行った。

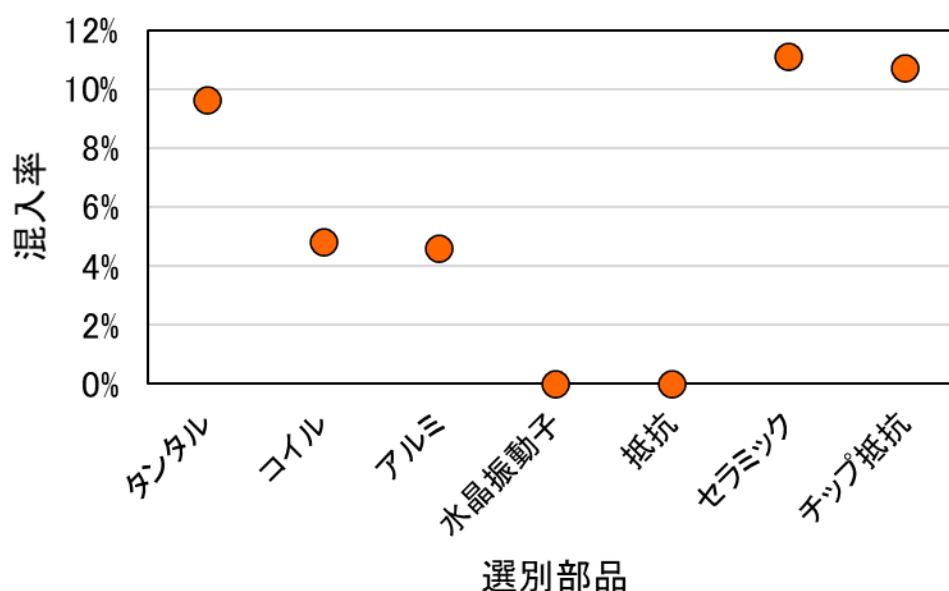


図 23 令和 2 年度の混入率

1) AI 画像認識選別処理を行う PC のスペック向上

AI 画像認識選別システムの処理速度向上に伴い、選別にかかる時間を短縮し、正確にエアブローを電子部品に的中させる必要があることから、令和 2 年度まで AI を動作させていたノートパソコンをデスクトップパソコンへと変更した。変更後のコンピュータスペックは表 3 の通りであり、計測した処理時間の比較は表 4 の通りである。AI 画像認識選別処理全体に要する時間は 9.07 ミリ秒から 3.74 ミリ秒へと短縮され、処理速度が 2.4 倍に増強された。

表 3 変更後のコンピュータスペック

	デスクトップパソコン G-GEAR neo GX7J-C211/ZT
プロセッサ	Intel Core i7-11700K (8 コア 16 スレッド/3.6GHz、Boost 時最大 5.0GHz)
CPU クーラ	FractalDesign 製水冷一体型
マザーボード	Intel Z590 ATX マザーボード
メモリ	DDR4-3200 32GB
グラフィック機能	NVIDIA GeForce RTX3070 8GB
ストレージ	1TB Samsung 980 PRO SSD

表 4 コンピュータスペック向上に伴う処理時間の比較（単位はミリ秒）

処理	ros→ opencv	二値化	モルフオ ロジー	輪郭抽出	最大輪郭 の抽出	認識の 前処理	認識	総合計 時間
ノート PC	1.41	0.30	0.51	0.29	0.04	2.11	4.40	9.07
デスクトップ PC	0.67	0.14	0.37	0.19	0.03	0.08	2.26	3.74
処理時間差	0.74	0.16	0.14	0.10	0.01	2.03	2.14	5.33
処理速度の 倍率	2.10	2.15	1.38	1.53	1.49	26.39	1.95	2.42

2) 小型ラインの選別対象部品と選別率

3mm～7mm 角の小型ラインの対象部品は図 24 に示すとおりである。この部品群は、令和 2 年度までも AI に学習をさせていたが、継続して学習を行った。昨年度は、各種部品を取り混ぜた状態で、1.2.3 で作成した実機のラインに流して選別率のテストを実施した。ここで、ラインに流したある部品の個数に対する、正しい選別ボックスに投入された個数の割合を選別率とした。選別率テストの結果を図 25 に示す。いずれの部品も概ね 90%の選別率を達成しており、実運用に近

い状況でのテストにおいても、高い選別率を示すことを実証した。最も選別率の低い LED は 80% を下回っているが、これは LED が小型ラインで選別を行う他の部品と比較して微小であり、AI が判定するまでの処理時間を多く要することに起因している。この点については、次年度に AI アルゴリズムの改良を実施し、解消予定である。

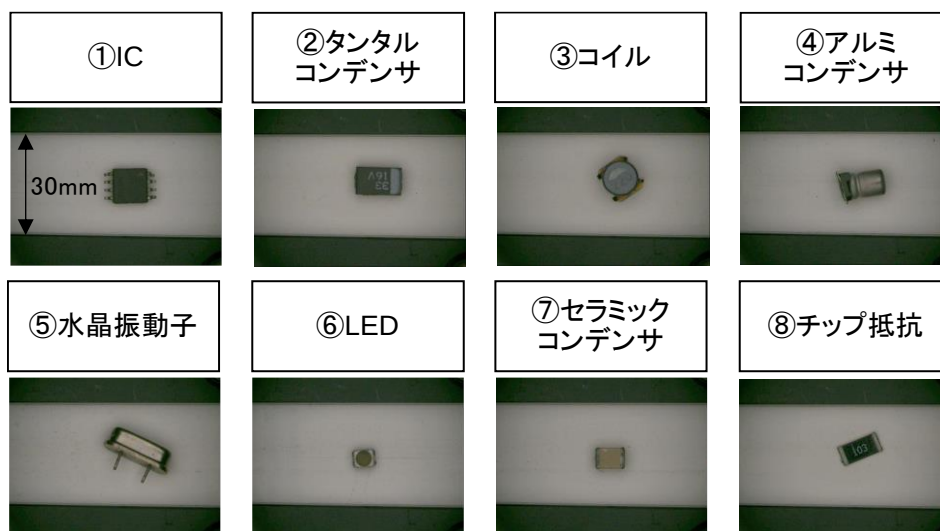


図 24 小型ラインの選別対象部品

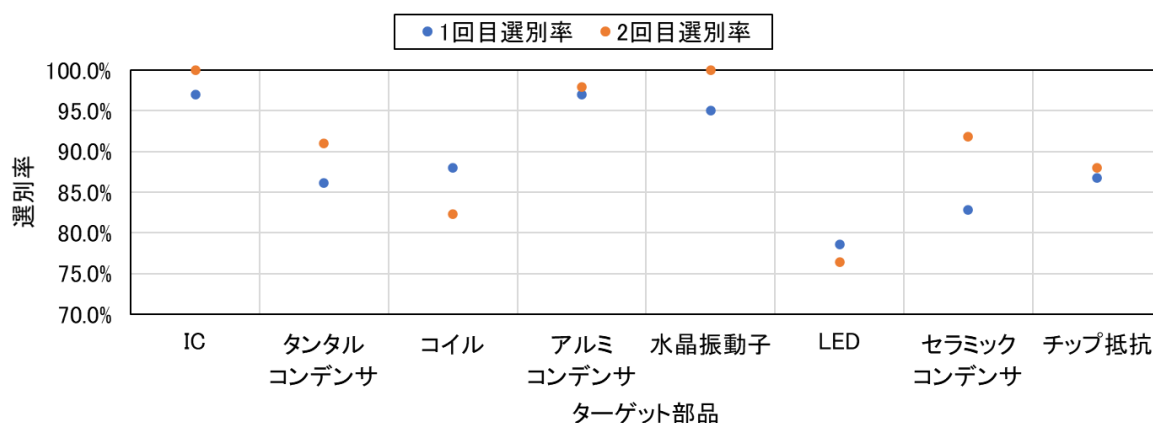


図 25 小型ラインの選別率（同条件で 2 回実施）

3) 中型ラインの選別対象部品と選別率

7mm～12mm 角の中型ラインの選別対象部品は図 26 に示すとおりである。選別対象部品の選定は、当社で過去に電子部品を手選別したデータを元に行った。AI に学習後、小型ラインと同様に各種部品を取り混ぜた状態で実機に流し、選別率をテストした結果は図 27 に示すとおりである。中型ラインについても、いずれの部品も概ね 90% の選別率を達成しており、実運用に近い状況でのテストにおいても、高い選別率を示すことを実証した。

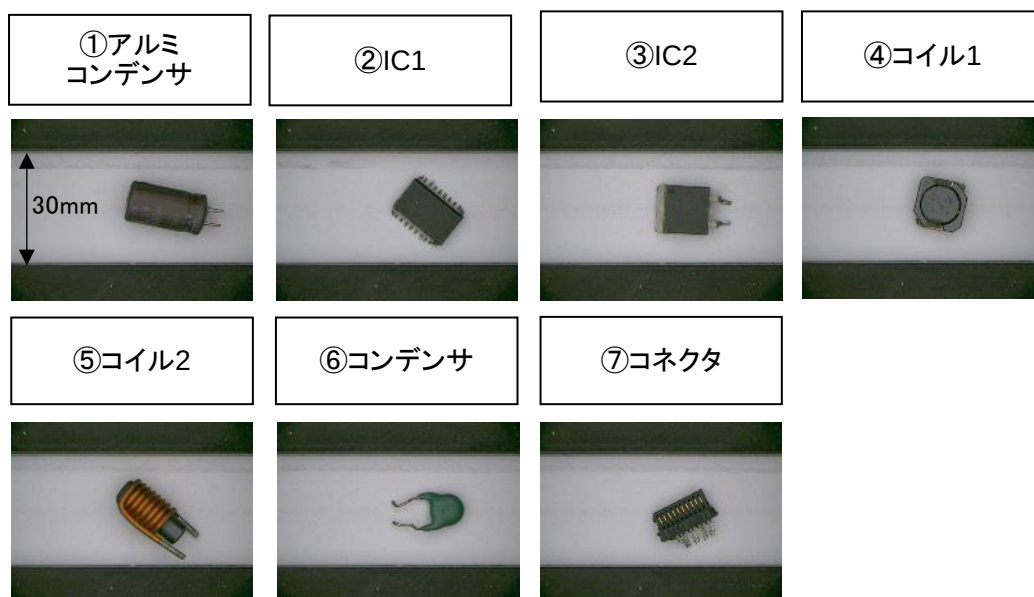


図 26 中型ラインの選別対象部品

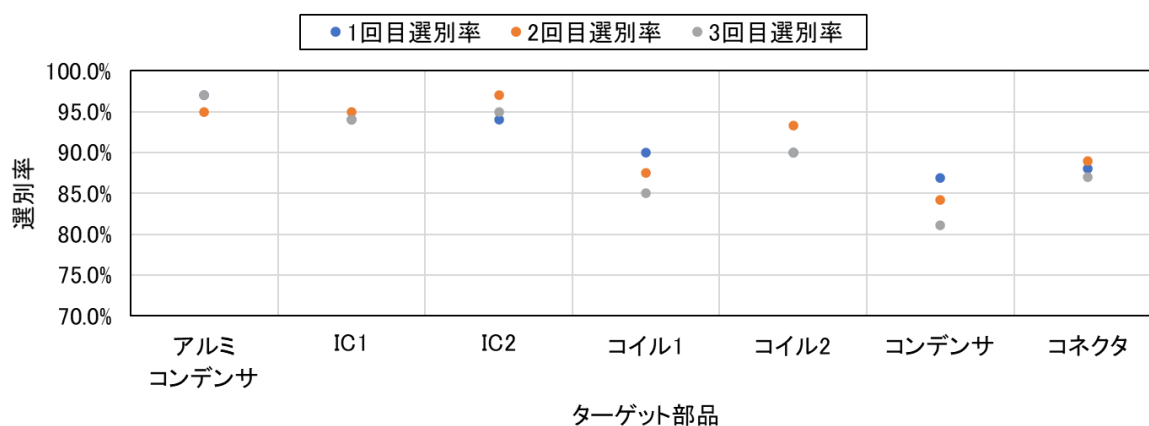


図 27 中型ラインの選別率（同条件で3回実施）

4) 大型ラインの選別対象部品と選別率

12mm～20mm 角の大型ラインの選別対象部品は図 28 に示すとおりである。選別対象部品の選定は、当社で過去に電子部品を手選別したデータを元に行った。AI に学習後、小型、中型ラインと同様に各種部品を取り混ぜた状態で実機に流し、選別率をテストした結果は図 29 に示すとおりである。大型ラインについても、いずれの部品も概ね 90%の選別率を達成しており、実運用に近い状況でのテストにおいても、高い選別率を示すことを実証した。コイル 1 については、3 回のテストすべてにおいて 85%を下回る選別率であり、他の選別部品と比較すると低いことがわかる。コイル 1 に限らず、中型ライン、大型ラインの選別に関する AI への学習は昨年度から開始したものであり、小型ラインより学習時間が不足していることが理由として考えられる。しかしながら、全体的に売却要件を満たすレベルの選別率を達成しており、次年度も継続学習による更なる選別率向上の余地が残されている。

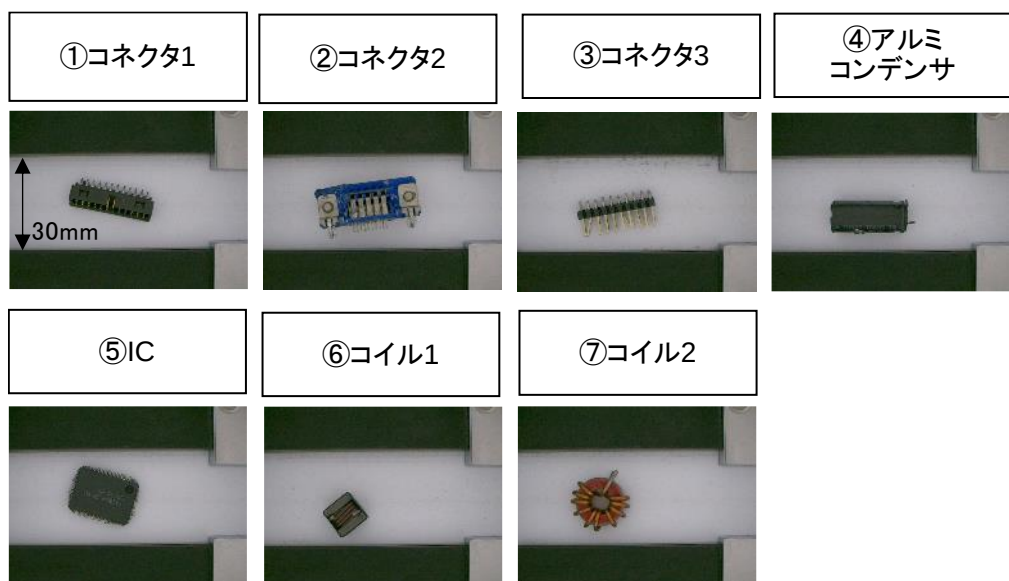


図 28 大型ラインの選別対象部品

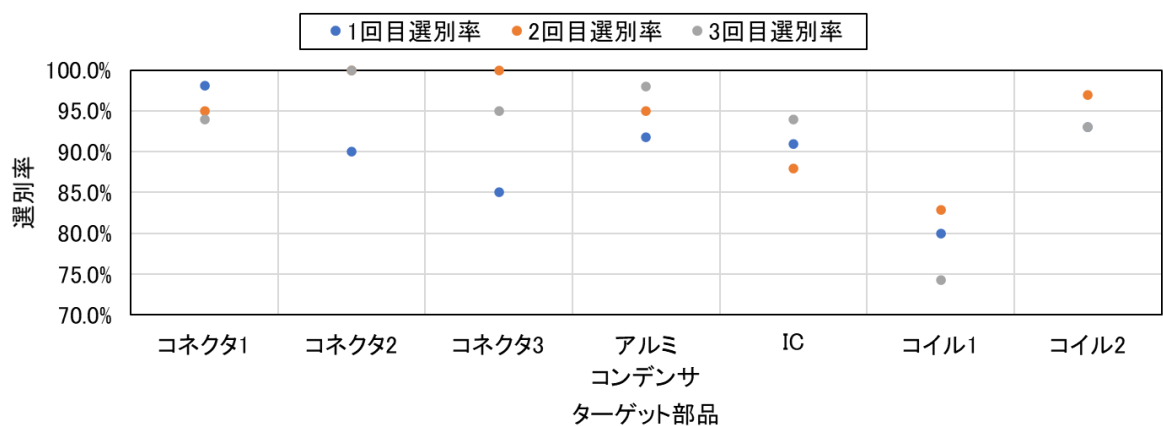


図 29 大型ラインの選別率（同条件で 3 回実施）

1.2.5. 事業化に向けた課題・対応策

ここまでに開発した AI 画像認識選別システムを、アステック入江をテスト工場とし、実際の運用環境におけるテストを行った。その結果明らかになった、運用上の課題と対応策を以下に述べる。

1) 多種多様な選別対象部品のボールフィーダへの供給安定化

篩選別において、図 30 のようなコネクタなど長物部品のブリッジや、ピンが出ているコネクタ等の篩網穴への詰まり、または篩選別からボールフィーダに篩選別した部品を排出するシュート部への部品の詰まりが発生し、ボールフィーダに部品供給されなくなる課題が明らかになった。この課題について、ブリッジ及び排出シュート部の詰まりを避ける形状への変更及び篩網穴への詰まりを避けるための詰まりやすい部品の事前除去または篩網穴の形状変更の検討を行った。



図 30 篩装置の長物部品のブリッジ

2) 連続運転時の稼働安定化の向上

連続運転すると、図 31 のようにコンベア上にピン状の部品やゴミがたまり、1 時間に 1 回程度コンベアが停止する問題が明らかになった。また、想定以上のコンベア汚れにより AI の選別精度が落ちるため、30 分に 1 回程度コンベアを清掃する必要がある。これらの連続運転するうえでの課題に対し、ピン状の部品やゴミを事前除去し、コンベアに流れ込まないようにし、汚れがつきにくいコンベアベルトへの変更やコンベア汚れに対するクリーニング機能を実装した。



図 31 コンベア上の部品詰まり

3) リサイクル工場の作業環境への対応

リサイクル工場の粉塵等により、電子部品を画像として認識するためのカメラが汚れることによる光量の低下と選別率の低下、また、AI を搭載するコンピュータにゴミが侵入することによる動作不良を引き起こすおそれがある課題が明らかになった。この課題に対して、カメラに汚れが着く原因を特定し、防塵対策などを導入し、リサイクル工場の作業環境を想定したコンピュータ設置環境の要件を設定した。

1.3. 多種多様な選別対象部品の安定的な選別の検討

1.3.1. 実証概要

前述の通り、昨年度試作した AI 画像認識選別システムでは、カメラ汚れによる光量の低下に伴う選別率の低下や、コンピュータへゴミが侵入することによる動作不良の恐れがある課題が明らかとなっている。今年度は、多種多様な選別対象部品のボールフィーダへの供給安定化について、昨年度試作した AI 画像認識選別システムの連続運転を行いながら、商用化に向けた改善策を検討した。

具体的には、連続運転によるベルト汚れ付着への対応として、ベルトの材質についての検討を行った。また、ベルト汚れが部品の選定率に及ぼす影響を定量的に評価することで、ベルトの定期的な交換が改善策になり得るのか評価を行った。

1.3.2. ベルト材質についての検討

本システム導入前後のベルト状態を比較した画像を図 32 に示す。図の通り、導入前は明暗のコントラストが明瞭に取得できており、部品の選別への影響はないと考えられる。しかし、システムを導入し連続運転をさせると、徐々にベルトに汚れが付着していき、部品とコンベアベルトの明暗の差が取得しづらくなっている。これにより、部品の選別率の低下が引き起こされていると考えられる。

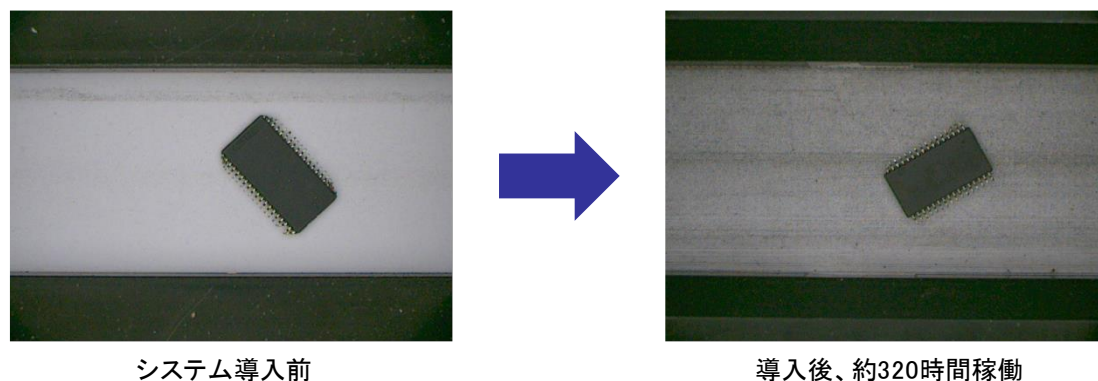


図 32 本 AI 画像認識システム導入前後の取得画像

そこで、連続運転時においてもベルトに汚れが付着しにくいベルト材質の検討を行った。検討する材質は、現在採用している H 社のものを含めたテフロン製のベルトが 2 種類、ゴム系と金属系の材質をそれぞれ 1 種類の計 4 種のベルトについて比較検討を行った。

まずゴム系材質のベルトについて、汚れの付着しにくさでは優れているものの、電子部品 (IC) とベルトの色が同化してしまうため、部品の判別が行えないことが考えられるため不採用となった。また、金属系のベルトについても同様に、電子部品のリード部分と同化してしまうため不採用とした。

次にテフロン材質の 2 種のベルトについて、汚れの付着具合は 2 種類とも差は見られないが、

コスト面において、現在採用している H 社製のほうが優れている。

以上、4 種類のベルトについて比較検討を行った結果を表 5 に示す。検討の結果、現在採用しているものが最適であると判断した。但し、ベルトの汚れが避けられないため、現状は、定期的なベルト交換対応と交換作業容易化の設計で進めており、次号機より反映させる予定である。

表 5 ベルト材質についての比較検討結果

ベルト材質	コスト面	耐久性	
テフロン (H 社)	○	△	現在採用中 (当初から使用)
テフロン (T 社)	× (H 社の 5 倍)	△	不採用
ゴム系 (黒)	電子部品 (IC) の色と同化してしまうため、不採用		
金属系 (シルバー)	電子部品の足 (リード) と同化してしまうため、不採用		

1.3.3. 選別ラインの汚れによる選別率への影響

ベルト材質の変更について検討を行ったが、現状最も効果的な対応手段はベルトの定期的な交換である可能性が示唆された。そこで、選別ラインの汚れがどの程度選別率の低下に寄与しているのか、ベルト交換前後の選別率を比較することで定量評価を行った。はじめに、本項で用いる各種用語の定義について表 6 に示す。

表 6 用語の定義

用語	定義
選別率	選別ラインに投入した総数 N の部品 A を例にすると、部品 A が選別される回収 BOX に選別された部品 A の数 M の割合 ($M/N \times 100$)
正解率	部品 A が選別される回収 BOX に選別された部品総数 X の内、部品 A の数 M の割合 ($M/X \times 100$)
小ライン	3mm～7mm の部品を選別するライン
中ライン	7mm～12mm の部品を選別するライン
大ライン	12mm～20mm の部品を選別するライン

1) 小ラインでの検証結果

まずは小ラインでの検証結果を図 33 に示す。交換前の選別率は HDD が 41%、PC 基板が 52%、サーバー基板が 48%である。一方で交換後の選別率は HDD が 57%、PC 基板が 67%、サーバー基板が 74%であり、HDD では 16%、PC 基板は 15%、サーバー基板では最も大きく 26%の選別率向上となった。

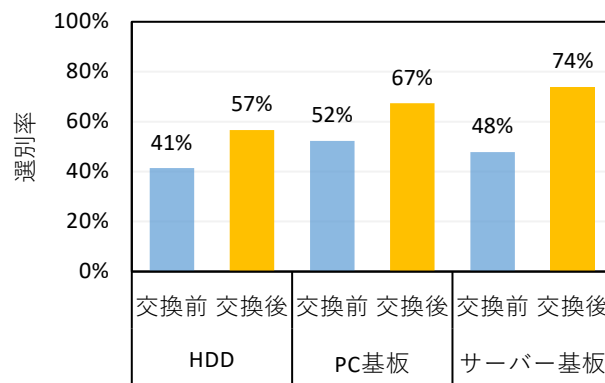


図 33 小ラインにおけるベルト交換前後の選別率比較

小ラインにおける、ベルト交換後の HDD の正解率と選別率の散布図を図 34 に示す。小ラインについては、汚れ以外に極小部品等の混入の影響が大きいと想定していたが、篩条件を精査して極小部品等の混入を減らしたものの、選別率への影響は僅かであったが、それ以上に外観上酷似している部品の誤認識による選別率低下が特徴的である。また、小ラインではグラフの電子部品の他にアルミコンデンサ、水晶振動子も対象部品としているが、本データの対象とした基板中にはほぼ含まれていなかった (N=0,1) ためプロットしていない。IC は選別率が重要であるが、少ラインにおいては選別率も 70%以下であるため、両方の向上が課題である。タンタルコンデンサは正解率、選別率ともに 70%程度であるが、精錬業者と取引に向けて連携していくことが決定している。連携協議のうえ、取引水準を定め、目標に向けた向上を図る。

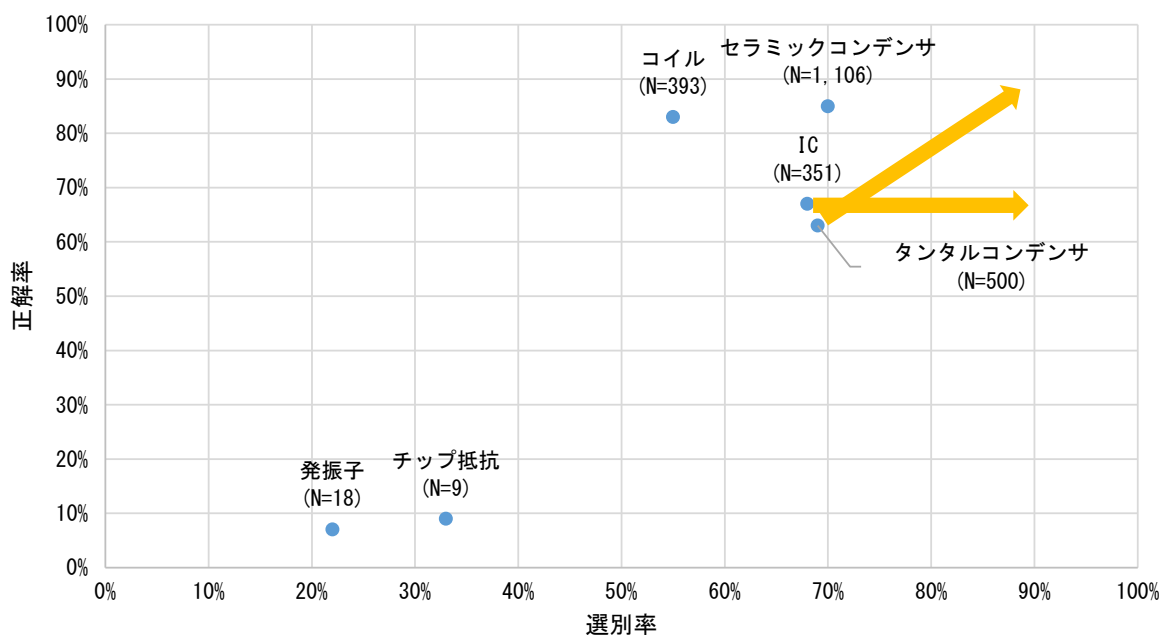


図 34 小ラインベルト交換後 (HDD) の正解率－選別率散布図

次に、小ラインにおける誤認識の傾向について、主な部品の誤認識となった画像を図 35 から図 42 に示す。まずは IC について、他部品を IC として誤認識するケースは比較的少ないものの、極小部品の混入による誤認識が多い傾向にある。これは IC に限らず小ラインにおける共通の課題である。次にタンタルコンデンサについて、IC の表面の写真よりも裏面が多く、ヒートシンク有りの IC を誤認識している傾向にある。小ライン全体としての誤認識の傾向は、小さい部品の混入が多く、篩機の調整が必要であること、外観が似た部品多く選別品目の調整が必要であることなどが挙げられる。

①他部品をICとして認識



②部品の重なりによる誤認識



図 35 小ラインにおける誤認識状況（101IC1）

①他部品をタンタルとして認識



②部品の重なりによる誤認識

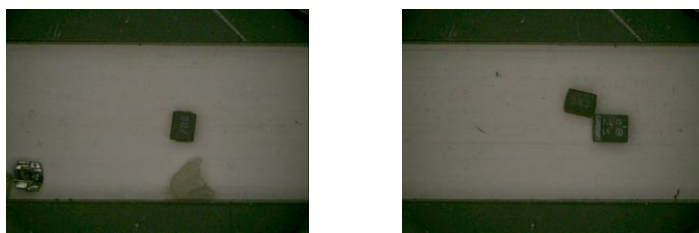
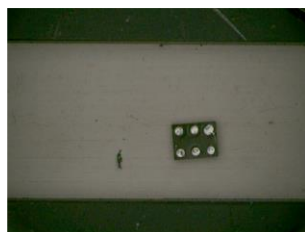
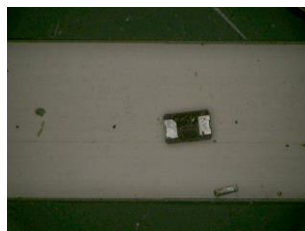
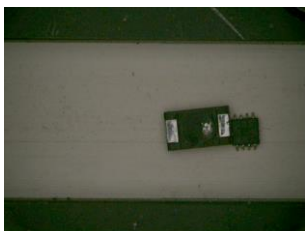


図 36 小ラインにおける誤認識状況（201 タンタル 1）

①他部品をタンタルとして認識



②部品の重なりによる誤認識



③極小部品の混入による誤認識



図 37 小ラインにおける誤認識状況（202 タンタル 2）

①他部品をタンタルとして認識



②部品の重なり誤認識（はんだによる部品同士の接着を含む）



③極小部品の混入による誤認識

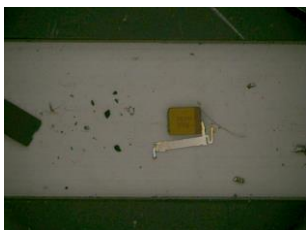


図 38 小ラインにおける誤認識状況（203 タンタル 3）

①他部品を水晶発振子として認識



②部品の重なりによる誤認識



③極小部品の混入による誤認識

図 39 小ラインにおける誤認識状況（603 水晶発振子）

①他部品をセラミックコンデンサとして認識



②部品の重なりによる誤認識



③極小部品の混入による誤認識

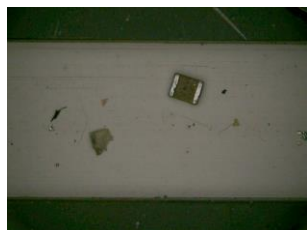


図 40 小ラインにおける誤認識状況（702 セラミックコンデンサ 2）

①他部品をセラミックコンデンサとして認識



②部品の重なりによる誤認識

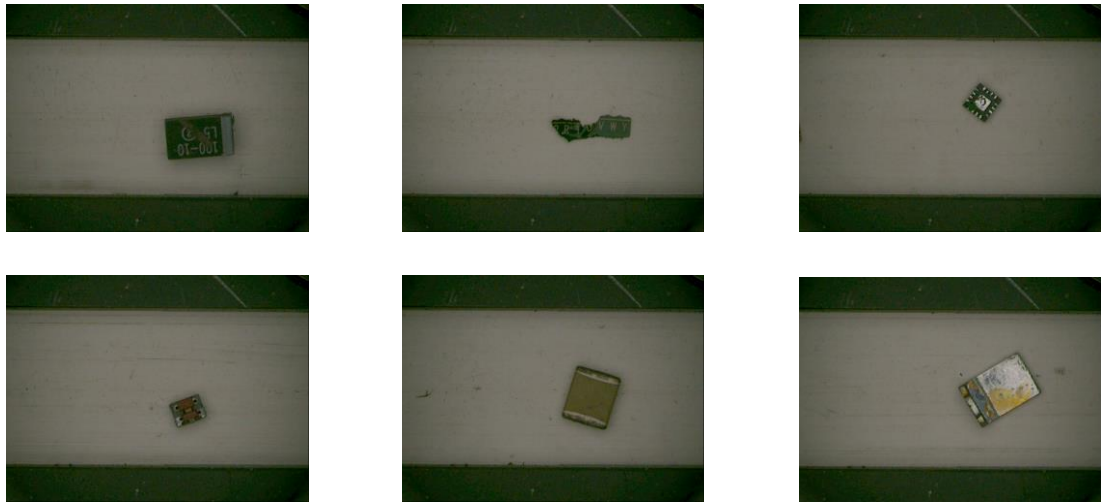


③極小部品の混入による誤認識



図 41 小ラインにおける誤認識状況（703 セラミックコンデンサ 3）

①他部品をチップ抵抗として認識



②部品の重なりによる誤認識

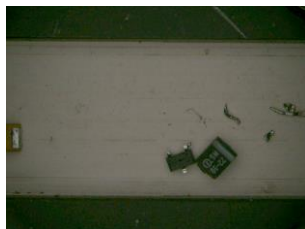


図 42 小ラインにおける誤認識状況（801 チップ抵抗）

2) 中ラインでの検証結果

次に中ラインでの検証結果を図 43 に示す。交換前の選別率は HDD が 66%、PC 基板が 66%、サーバー基板が 57%である。一方で交換後の選別率は HDD が 69%、PC 基板が 76%、サーバー基板が 74%であり、HDD では 3%、PC 基板は 10%、サーバー基板では最も大きく 17%の選別率向上となった。

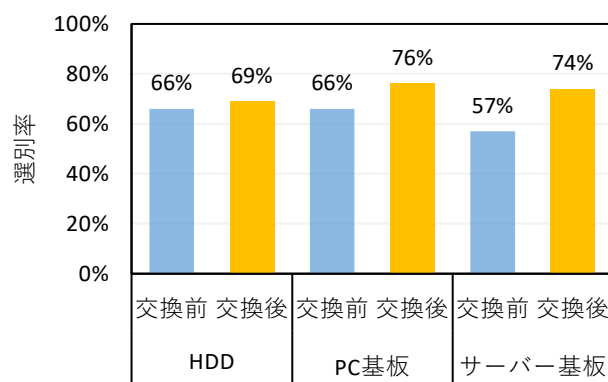


図 43 中ラインにおけるベルト交換前後の選別率比較

中ラインにおける、ベルト交換後の HDD の正解率と選別率の散布図を図 44 に示す。小ライ

ンと比較すると、極小部品等の混入による影響はないが、外観上酷似している部品の誤認識による選別率低下がみられる。中ラインではグラフの電子部品の他にセラミック発振子、コンデンサ、水晶振動子も対象部品としているが、本データの対象とした基板中にほぼ含まれていなかった（N=1）ためプロットしていない。アルミコンデンサは正解率、選別率ともに重要であるが、正解率は 87%と高い水準で選別できているため、選別率の向上が課題である。IC は選別率が重要となる電子部品であるから、現状の 70%からの向上が課題である。今回は対象外としたコンデンサは貴金属を多く含有する研究結果が出ており、IC 同様の取引が期待できることから、正解率、選別率ともに重要である。

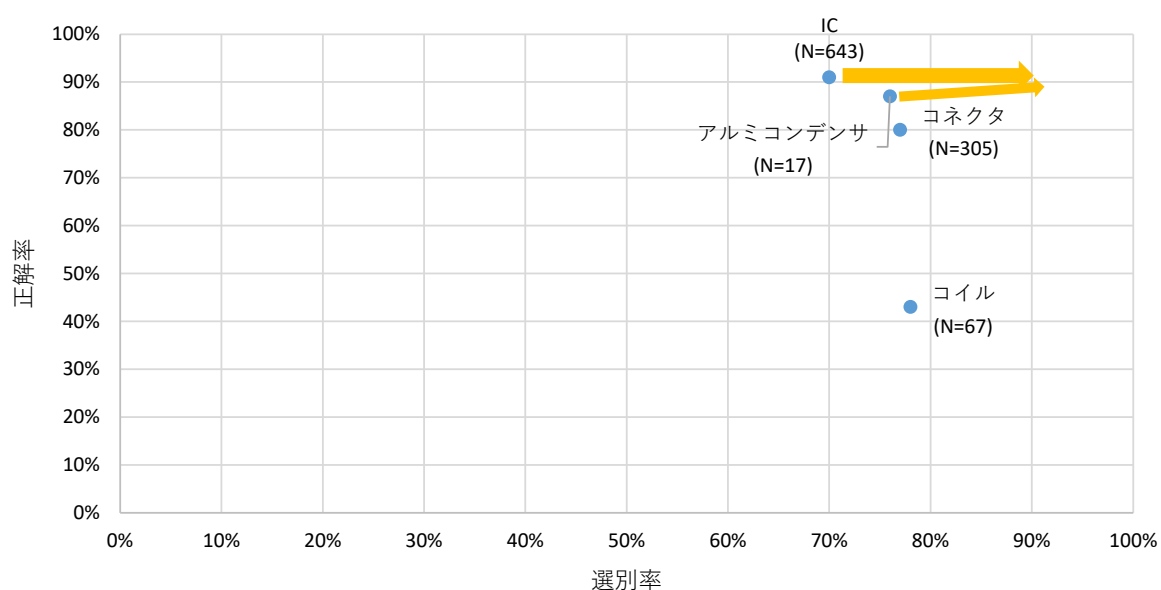
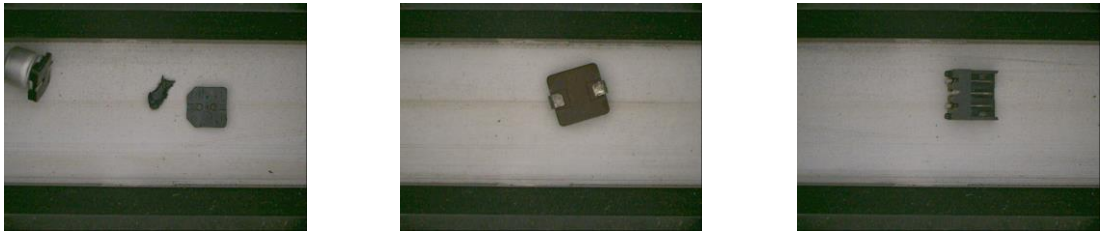


図 44 中ラインベルト交換後（HDD）の正解率－選別率散布図

次に、中ラインにおける主な部品の誤認識の傾向について図 45 および図 46 に示す。中ラインにおいては、各部品でその他への取逃がしが多く、重なっている部品が原因の為整列方法の見直しについて検討が必要である。

①他部品をICとして認識



②部品の重なりによる誤認識

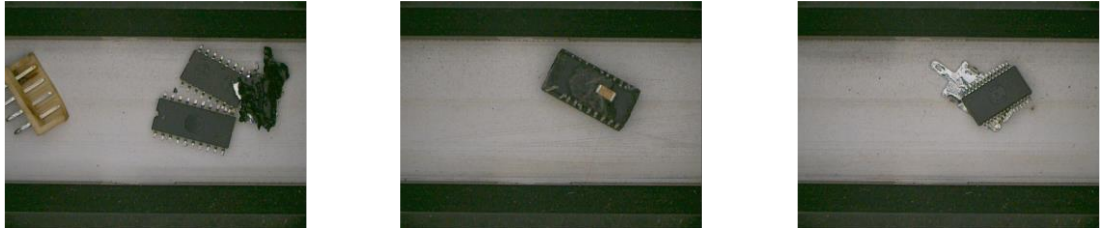
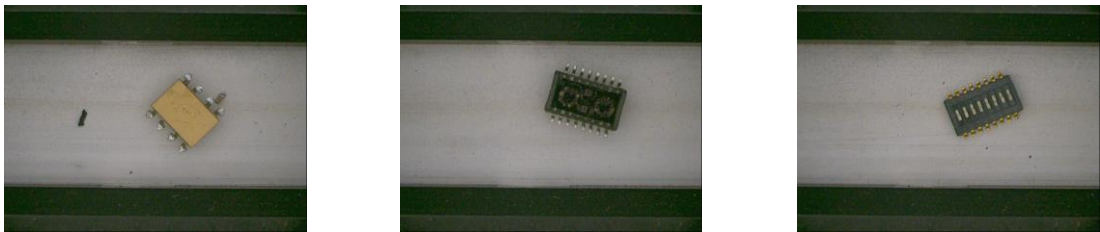


図 45 中ラインにおける誤認識状況 (IC)

①他部品をコネクタとして認識



②部品の重なりによる誤認識

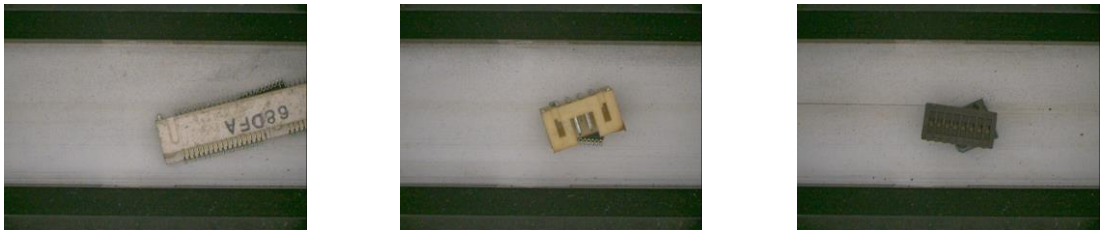


図 46 中ラインにおける誤認識状況 (コネクタ)

3) 大ラインでの検証結果

次に大ラインでの検証結果を図 47 に示す。交換前の選別率は HDD が 43%、PC 基板が 64%、サーバー基板が 50%である。一方で交換後の選別率は HDD が 63%、PC 基板が 75%、サーバー基板が 6%であり、HDD では 20%、PC 基板は 9%、サーバー基板では 10%の選別率向上となった。

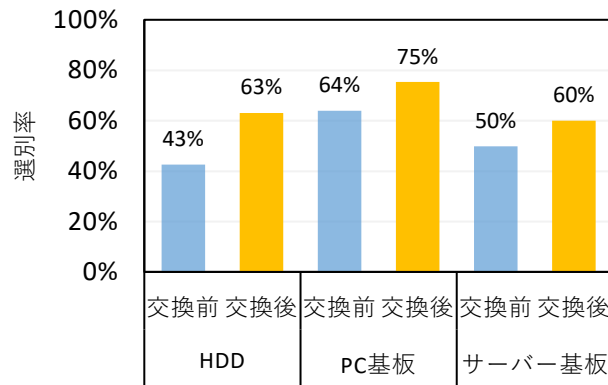


図 47 大ラインにおけるベルト交換前後の選別率比較

大ラインにおける、ベルト交換後の HDD の正解率と選別率の散布図を図 48 に示す。大ラインについては、汚れ以外に部品同士の重なりの影響が大きく、HDD/サーバーは薄型電子部品 (IC) が多いため、影響が大きい。また、大ラインではグラフの電子部品の他にアルミコンデンサ、コイルも対象部品としているが、本データの対象とした基板中にほぼ含まれていなかった (N=0,1) ためプロットしていない。

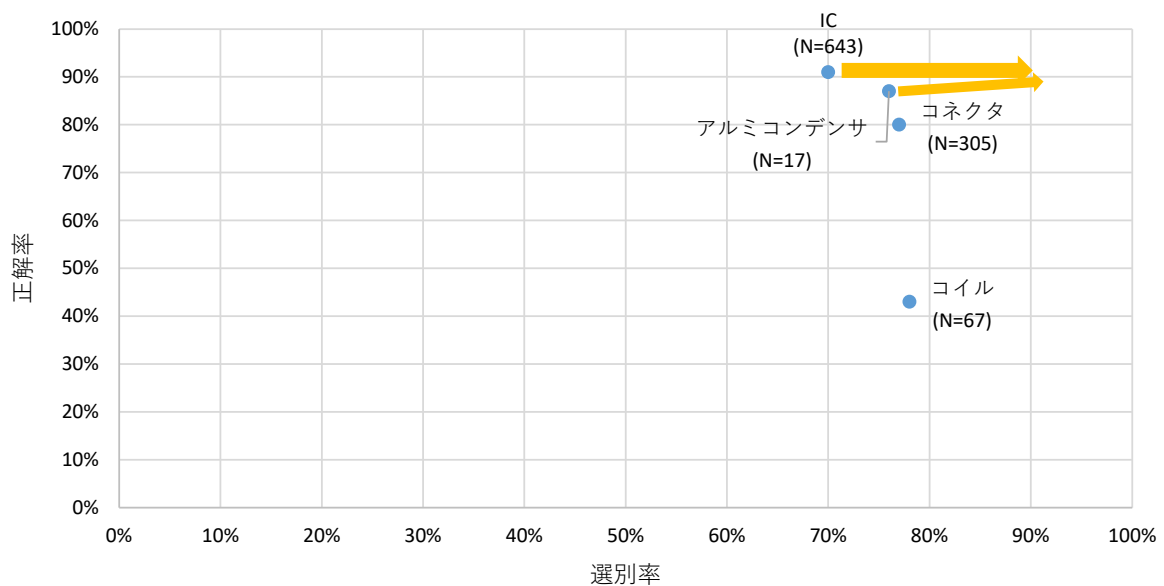
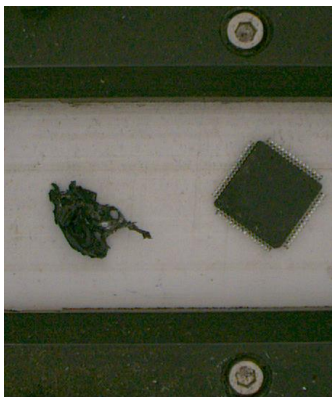


図 48 大ラインベルト交換後 (HDD) の正解率－選別率散布図

次に、大ラインにおける誤認識の傾向について図 49 および図 50 に示す。大ラインにおいて最も顕著な誤認識の傾向は、部品同士の重なりによる誤認識であり、整列方法についての再検討が必要である。また、IC がコネクタと誤認識されるケースがあるため、学習の見直しが必要である。

①他部品をICとして認識



②部品の重なりによる誤認識

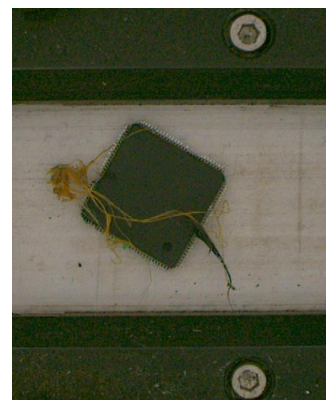
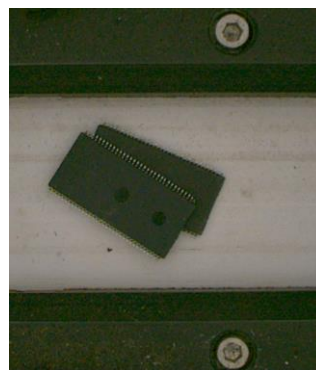
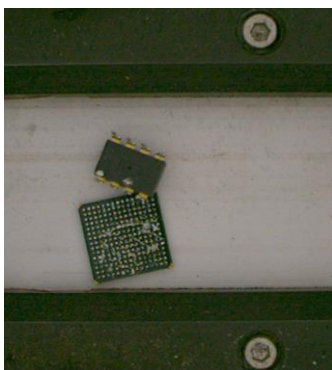
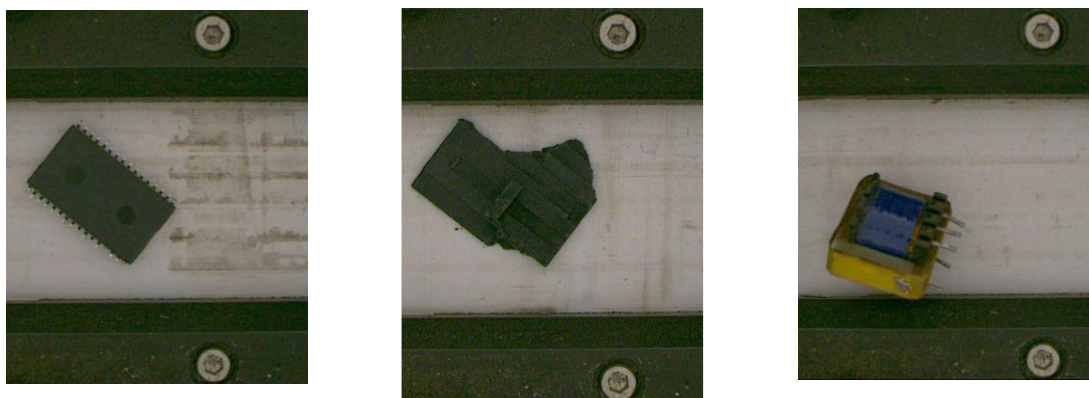


図 49 大ラインにおける誤認識状況 (IC)

①他部品をコネクタとして認識



②部品の重なりによる誤認識



図 50 大ラインにおける誤認識状況（コネクタ）

4) AI 画像認識選別システムにおける現状の課題とその解決策

以上のように、ラインごとに異なる課題が発生しており、加えてベルト汚れによる選別率の低下が共通の課題として認識された。これらの課題のうち、極小部品の混入と篩時のピン等による詰りは篩処理条件の見直しで解決を図ることができた。また、センサ部の汚れについても、適宜エア洗浄を行う仕組みを導入することで解決済である。未解決の課題として、部品同士の重なり、酷似部品による誤認識、ベルト汚れが挙げられる。ベルト汚れについては前述の通り、定期的なベルト交換を行うことが現状の最善策ではあるものの、既存装置ではベルト交換に労力を要するため、次号機より設計変更を行う。以上、現状の課題と解決策について表 7 にまとめる。

表 7 AI 画像認識選別システムにおける現状の課題とその解決策

課題	検討状況	解決策
部品同士の重なり	パーツフィーダー改良（角度調整）を行ったが、解消に至らず	- ワーク領域を切り取って診断する AI（マスク処理、セグメンテーション） - 重なった部品でも画像判定時に%表示し、優先度を付けて判定させる AI ※ 但し、既存の AI への機能付加が出来ず、開発要素大きいため、実装には長期スパンを要する - カメラ解像度向上
酷似部品による誤認識	—	
ベルト汚れ	汚れに強いベルトの検討を行ったが、汚れの回避はできない	- 定期的なベルト交換（320 時間程度の稼働で交換を想定） - 既存装置ではベルト交換作業に労力を要するため、導入先でも交換しやすい機構への設計変更（次号機より反映可能）
極小部品等の混入	篩処理条件（時間）見直しで対応可能	解決済
篩時のピン等による詰り	篩処理条件（振動数）見直しで対応可能	解決済
センサ汚れ	適宜、連続運転中に自動的にエアー洗浄できる仕組みを導入	解決済

2. O₂ センサー・着火プラグの回収スキームの検証とモデル構築

2.1. 技術概要

地球温暖化への対応として自動車では低燃費が求められてきた。この中で、ガソリンエンジンでは、リーンバーンなどによりエンジン内部の着火環境が厳しく、燃焼安定性の向上が求められてきた。こうした中、着火性を左右する着火プラグは、高性能・長寿命化が必要となり、材料に PGM が使われるようになってきた。具体的には、外側電極にプラチナが、中心電極にイリジウムが使われている。また、着火環境のみならず、燃料の噴射タイミングなど、細かなエンジン制御が行われるようになっており、O₂ センサーで測定された排気ガス中の酸素濃度データは、エンジン制御を行ううえで欠かせないものとなっている。この O₂ センサーにもプラチナが使用されている。

このように PGM が使われている着火プラグ、O₂ センサーであるが、整備工場にて交換された際に発生する廃プラグからのプラチナ、イリジウムのリサイクルは進んでおらず、ドアなどの鉄や非鉄と一緒に雑品として鉄スクラップ業者に引き渡しているのが現状である。

2.2. 昨年度までの成果概要

2.2.1. 効率的な分離技術の検討

① 着火プラグ

着火プラグは表 8 に示す通り、通常プラグ、高性能プラグ、長寿命プラグの 3 つに分類される。通常プラグには PGM が使われておらず、高性能プラグには中心電極にイリジウム合金が使われており、長寿命プラグには中心電極にイリジウム合金が、外側電極にプラチナが使用されている。

着火プラグからイリジウム合金とプラチナを分離することを目的としていることから、プラグ種別を見分けることが必要である。通常プラグ及び長寿命プラグは図 51 に示すとおり、中心電極と外側電極の突起の有無により簡単に判別できることがわかった。

表 8 着火プラグの種類

種類	中心電極がイリジウム合金	外側電極がプラチナ
通常プラグ	×	×
高性能プラグ	○	×
長寿命プラグ	○	○

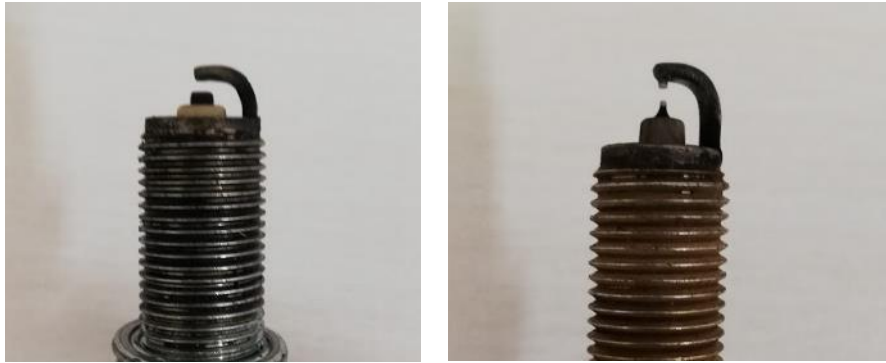


図 51 通常プラグ（左）と長寿命プラグ（右）

次に、外側電極（ターゲット元素：プラチナ）と中心電極（ターゲット元素：イリジウム）の分離方法について検討した。まず、外側電極については金属バサミによる切断分離を試みたところ容易に切断でき、1本あたり10秒のペースで切断できた。切断による金属バサミの劣化もなく、外側電極の分離に有効であることがわかった。外側電極分離後の着火プラグから中心電極を分離するにあたり、①ステンレス用ヤスリ、②ダイヤモンドヤスリ、③線材要ニッパーの3種類の工具を用いた分離を検討した。分離容易性及び工具の耐久性の観点から、①のステンレス用ヤスリが有効であるとわかった。中心電極の分離に要する時間は1本あたり約60秒であった。分離後の外側電極及び中心電極は図52に示すようになった。

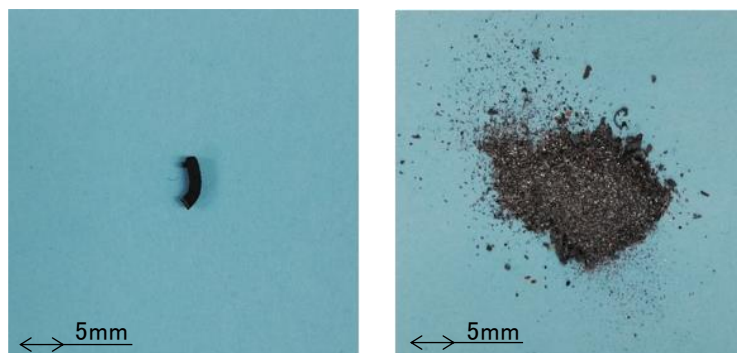


図 52 分離後の外側電極（左）と中心電極（右）

図52の分離した検体を簡易的なXRF分析の結果、外側電極にはターゲットとするプラチナの含有率が4.83%、中心電極にはターゲットとするイリジウムの割合が20.17%と高純度で含まれていることがわかった。また、ICP分析の結果、中心電極にはイリジウムが33.41%含有していることがわかった。

② O₂ センサー

O₂ センサーの内部構造は、概ね図53に示す通り、ヒーターを中心とし、その外側がセラミックス製の筒状の部品となっており、一番外側に金属製のカバーがついている。

そしてPGM（プラチナ）はO₂ センサー内部のセラミックス製の筒状の部品の内側に薄く塗布してある。一部、自動二輪車用などのヒーターが無いものもあったが、セラミックス製の部品に

PGM（プラチナ）が塗布してあるのは同じであった。つまり外形的な差異に関係なく、O2 センサー内のセラミックス製部品に PGM（プラチナ）が使用されており、セラミックス製部品以外の部分には PGM（プラチナ）白金が使用されていないことを確認した。

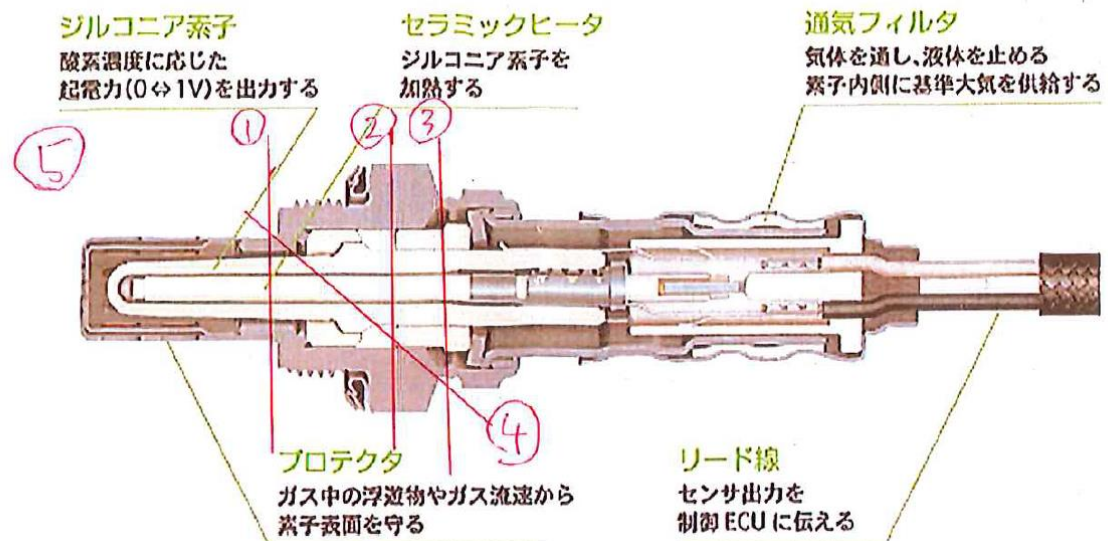


図 53 プラチナをターゲットとした場合の O2 センサーの切断箇所（画像出所：NGK「ジルコニア酸素センサ」(https://www.ngkntk.co.jp/product/sensors_plugs/zirconia_oxygen.html)

O2 センサーからセラミックス部品のみを分離する方法として、図 54 の小型旋盤を利用した方法が最も効率的に切断できることを確認しており、小型旋盤の三つづめチャック部分に O2 センサーを固定するための治具を開発した。切断の状況は図 55 に示すとおりであり、加工に慣れると 1 本あたり 15 秒程度でできることを確認した。旋盤に取り付ける突切ブレードと呼ばれる刃物は 1 本 2,000 円であり、研磨しながら使用すれば 500 本程度の O2 センサーの切断に耐えられる。O2 センサー 1 本あたりの切断コストは 4 円であった。

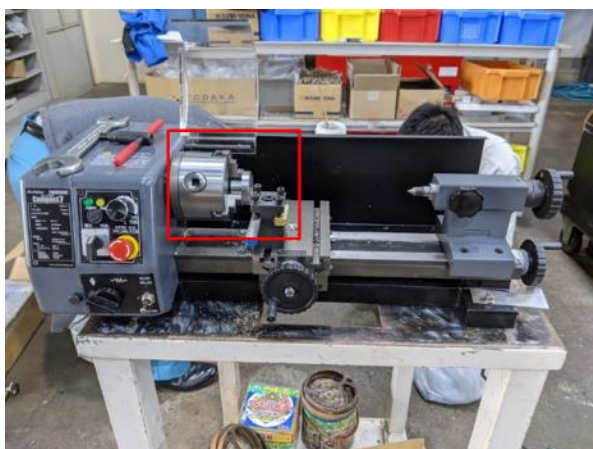


図 54 小型旋盤（左）と O2 センサー固定治具（右）



図 55 O2 センサーの切断状況（左）と切断後の状況（右）

2.2.2. 整備工場からの回収可能性の検討およびパイロット実証

整備工場へのヒアリングを行い効率的な回収の可能性及び実現性を検討した。このとき着火プラグ、O2 センサーの年間回収量、回収の為の取引要件（価格、梱包、数量等）、整備工場からの回収ルート等をヒアリングした。回収量に関するヒアリング結果から、着火プラグ・O2 センサーの年間発生量を推計した結果を図 56 に示す。ここで、衝突事故においては 2 個、追突事故においては 1 個の O2 センサーを回収可能と仮定する。それぞれ、着火プラグの年間発生個数は約 2,820,000 個、O2 センサーの年間発生個数は約 280,000 個と推定される。

部品種類	発生元	規模		計算式		
O2・A/F センサー	事故	規模 280,000 個	規模 約69,600 個	衝突事故件数 27,373 件×2 個	×	軽自動車 19.9%
				追突事故件数 294,431 件×1 個	×	
	車検・ 整備		規模 約210,400 個	車検台数 21,043,151 台	×	交換率 1%
					×	交換個数 1 個/台
点火 プラグ		規模 約2,820,000 個			×	交換率 5%
					×	ガソリン車 89.4%
					×	交換個数 3 個/台

図 56 着火プラグ・O2 センサーの市場規模の推定

令和 2 年度のレターパックを用いた回収のパイロット実証においては、回収コストのバラツキが課題として残っていた。回収コストは、レターパック 1 枚あたりに封入される着火プラグ・O2 センサーの本数に依存することから、昨年度は 1 枚あたり封入本数を増やして依頼することで、より回収コストを抑えたパイロット実証を行った。また、令和 2 年度において、着火プラグ・O2 センサーにオイルが付着した状態で直にレターパックライトに封入した場合、レターパックが破

損してしまい、郵便局にてテープで補修されているものもあった。郵便業者の負担が恒常的に増えてしまうと、配達を受け付けてくれなくなるおそれがあることから、破損を防ぐためにビニール袋等に入れたうえで封入するよう同時に依頼した。以上の改善を図ったうえで、整備工場へ配布した回収パイロット実証協力案内を図 57 に、実証結果を表 9 に示す。全国 6 ブロック 6 社から協力を得られ、レターパック枚数 14 枚、着火プラグ本数 658 本、うち高品位プラグ 600 本を回収できた。令和 2 年度と異なり、破損したレターパックはなかった。1 枚あたり本数が最も少ないもので 29 本、最も多いもので依頼通りの 60 本であった。60 本封入されている状況は図 58 の通りであり、整然と並べ、かつ固定しなければ封入しきれないことがわかった。

令和 2 年度パイロット実証結果との比較を表 10 に示す。昨年度は、令和 2 年度に比べると協力工場数が減り、レターパック枚数も約 70%減ったものの、協力依頼通りに 1 枚あたりに封入される本数が増加したことから、着火プラグの回収本数は約 55%減程度に収まった。回収コストをより抑えたレターパック回収を目指した狙い通り、1 枚あたりに封入される本数が増加したことから、会社別に見た 1 本あたり回収コストの中央値は、令和 2 年度 12.9 円に対し、昨年度 8.2 円と、約 36%削減することに成功した。通常プラグの混入率は令和 2 年度と変化なく約 9%であった。

高性能着火プラグの分別回収のお願い
(工場様での回収は12月末日まで、下記郵送先への発送は1月10日まで)

モデル事業へのご協力金について
レターパック1パックあたり1,000円(税別、レターパック代込)をお支払いします。
*レターパックには60本程度の着火プラグを入れてください

この度、(一社)熊本環境革新支援センターは令和3年度環境省「脱炭素型金属リサイクルシステムの早期社会実装化に向けた実証事業」に採択され、搭載数が増えている高性能着火プラグ(イリジウムプラグ)の全国規模での回収実証モデル事業を行うことになりました。

本モデル事業を通じて事業性の評価を行い、プラチナなどの希少金属のリサイクルシステムの構築を目指していきます。各工場様の積極的なご協力をお願いいたします。

問合せ先・郵送先：一般社団法人熊本環境革新支援センター
〒860-0064 熊本県熊本市西区城山半田1丁目2番25号
担当：高橋・中嶋 MAIL：PGM3R@gmail.com TEL：080-3092-3802



高性能(イリジウム)着火プラグの分別にご協力ください



- 着火プラグは中心が尖っているものが対象です。
- ペール缶などに分別して保管のご協力をお願いします。

中心が
尖っている



高性能(イリジウム)着火プラグ



着火プラグをレターパックライトでご郵送ください



- 本数が60本程度たまりましたら、青のレターパックライトに入れて下記まで郵送ください。
- オイルが付着している場合は、ビニール袋に入れるようお願い申し上げます。
- 厚さ3cm、重量4kgまでとなっていますので、詰め込みすぎにご注意ください。

【郵送先】

〒860-0064 熊本県熊本市西区城山半田1丁目2番25号
一般社団法人熊本環境革新支援センター

¥ レターパックライト代を含むご協力金は実証期間終了後にお支払いいたします 

- 実証期間終了後、ご協力金をDRPネットワーク本部様を通じてお支払いします。

図 57 整備工場への協力案内

表 9 レターパック回収パイロット実証結果

No.	ブ ロ ッ ク	都道府県名	会社名	レターパッ ク No.	高品位プラグ	通常 プ ラ グ	プ ラ グ 合 計	O2 セ ン サ ー
1	東北	宮城県	A 社	1	60	0	60	0
東北ブロック小計				1	60	0	60	0
2	信越	石川県	B 社	1	52	1	53	0
				2	51	3	54	0
中国ブロック小計				2	103	4	107	0
3	関東	東京都	C 社	1	37	8	45	0
				2	37	8	45	0
				3	33	8	41	3
				4	30	0	30	2
				5	26	8	34	4
関東ブロック小計				5	163	32	195	9
4	中部	岐阜県	D 社	1	54	10	64	0
				2	55	9	64	0
				3	58	1	59	0
中部ブロック小計				3	167	20	187	0
5	中国	広島県	E 社	1	38	2	40	0
				2	40	0	40	0
中国ブロック小計				2	78	2	80	0
6	四国	愛媛県	F 社	1	29	0	29	0
四国ブロック小計				1	29	0	29	0



図 58 60 本封入の状況

表 10 レターパック回収パイロット実証の令和 2 年度との比較

	令和 2 年度	昨年度
回収対象	高品位着火プラグ・O2 センサー	高品位着火プラグ
封入依頼本数	30 本～40 本	60 本
レターパック回収枚数	46 枚	14 枚
着火プラグ回収本数	1,436 本	658 本
通常プラグ混入率	9%	9%
1 本あたり回収コスト (中央値)	12.9 円	8.2 円

2.2.3. エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討および回収モデルの構築

エンジンリサイクル会社においてアルミ溶解前に着火プラグの手選別ができる企業があったことから、実際に手選別作業を実施してもらった。手選別作業のコストは、HV エンジンの解体受託費用である 100 円/kg であれば問題ないことを確認している。回収量は 3 ヶ月で 400kg (約 1 万本程度) であり、令和 2 年度までの分析結果で評価すると、プラチナ回収量は 142.5g、イリジウム回収量は 12g の規模となった。

また、手解体中心のエンジンリサイクル会社とプロセスが近いリビルトエンジン会社に対しヒアリングを実施した。ヒアリングの結果、リビルト工程で着火プラグを取り外しており、取り外しコストがかからないことを確認した。

1) 福祉連携スキームの構築・実証

上記エンジンリサイクル工場にて手選別作業にて分離した着火プラグを購入し、障がい者作業所にてジョブマネジャー立ち合いのもと、プラチナ含有の外側電極とイリジウム含有の中心電極を分離する室内作業を実施する福祉連携スキームを構築、実施した。なお、PGM 含有部位の分離作業については、ジョブマネジャーから障がい者の方でも作業できるとの判断を得ている。また、分離方法については、令和 2 年度までに把握できた金属ハサミを利用した方法で実施した。

エンジンリサイクル工場にて回収された着火プラグは既に集約されているので、レターパックによる回収ではなく、チャーター便で運搬をすることとした。運搬方法をチャーター便に変更することで、運搬コストはレターパックに最大限封入したときの 6.2 円/本から 1.4 円/本になり、4.8 円/本のコスト低減を実現した。また、加工コストについても、令和 2 年度試算時給 1000 円ベースから、障がい者との福祉連携スキームにより 8.0 円/本から 3.2 円/本になり、4.8 円/本のコスト低減を実現した。

作業所における障がい者作業の様子及び分離後の検体の状況をそれぞれ図 59、図 60 に示す。同検体について成分分析を実施した結果と資源価値を表 11 に、回収、分離、精錬時回収等に要する経費を表 12 に、事業採算性について表 13 にそれぞれ示す。福祉作業所において分離作業を実施した検体であっても、分析の結果、プラチナ及びイリジウムの含有率はそれぞれ 1.56%、2.25% と令和 2 年度と大きく変わらない含有率を示した。エンジンリサイクル工場から購入した着火プラグ 400kg、(約 10,000 本) の資源価値は 260,674 円と試算でき、分離後の着火プラグを雑品として 10 円/kg で売却できるとした場合、経費 178,382 円を差し引いた収支は 86,292 円であり、事業採算性が十分とれるスキームであることを実証できた。エンジンリサイクル工場とは次年度以降も継続して取引を行うことが決定している。



図 59 福祉連携による分離作業風景



図 60 福祉連携により分離した検体

表 11 福祉連携スキームの資源価値試算

ターゲット PGM	上目重量 (*1) (g)	回収率 (*2) (%)	含有率 (%)	資源 回収量 (g)	資源相場 (*3) (円/g)	重さあたり精製費 (*2) (円/g)	精製費 (円)	資源価格 (円)
プラチナ	1,000	95	1.56	14.25	3,450	80	1,140	48,022
イリジウム	1,000	60	2.25	13.2	16,560	450	5,940	212,652
合計								260,674

(*1)回収したプラグ 10,000 本から 1 本あたり 0.1g 分の PGM 含有部位を分離し 1,000g

(*2)令和 2 年度の田中貴金属見積から引用

(*3)プラチナ：9/28 田中貴金属プラチナ購入価格、イリジウム：田中貴金属 2021 年 8 月平均相場

表 12 福祉連携スキームの経費試算

費目	単価	量	合計金額 (円)
着火プラグ購入料	100 円/kg	400kg	40,000
フレコンパック	1,000 円/袋	1 袋	1,000
運送費(*1)	14,400 円/便	1 便	14,400
しょうがい者加工委託費	80 円/kg	400kg	32,000
消耗品費	5,591 円/セット	2 セット	10,982
精錬時回収費(*2)	80,000 円/式	1 式	80,000
合計			178,382

(*1)佐川急便チャーター便：千葉→新潟の価格

(*2)令和 2 年度の田中貴金属見積から引用

表 13 福祉連携スキームの事業採算性試算

品目	金額(円)
資源価格	260,674
諸経費	▲ 178,382
雑品価格(*)	4,000
合計	86,292

(*)雑品の回収価格を 10 円/kg と設定

2) 大手着火プラグメーカーとの協働

福祉連携スキームにて、エンジンリサイクル工場で集約された着火プラグをチャーター便で輸送した。その輸送コストはレターパックに最大で詰めた場合よりも遥かに安価で済むことがわかっている。大手着火プラグメーカーへの提案機会を得ていることから、大手着火プラグメーカーと協働し、ある程度のブロック単位で整備工場において回収できる着火プラグを集積し、それをチャーター便等でまとめて輸送するスキームを提案していく。

2.2.4. 事業化に向けた課題・対応策

PGM 分離方法及び回収スキームは、令和 3 年度実証をもち事業採算性のとれる方法の構築・実証を完了した。今後は、実証協力企業と継続取引をしつつ、スキームを横展開し、事業を拡大していく。

3. ビジネスモデルの DX に関する検討

3.1. 昨年度までの成果概要

クラウド環境と連携した DX モデルの構築と、同モデルと連携した AI 画像認識選別システムの提供方法の検討を終えている。以下に各実施項目の概要を示す。

3.1.1. AI 画像認識選別システムの DX 事業モデル

AI 画像認識選別システムを横展開し、各リサイクルで選別時に収集される部品画像データ等を学習に利用することで選別精度の向上・新たな PGM ターゲット部品への対応のサイクルを生み出す事業モデルを検討した。図 61 に示すように、全国のリサイクル拠点において処理時に得られたデータを PFer クラウド環境に収集・学習し、最新の学習データを利用できるようにする。リサイクル拠点と PFer クラウド環境のデータサイクルは以下の通りである。

事業戦略拠点にて、全国リサイクル拠点等に配置された AI 画像認識選別システムの稼働状況を BI ツールで監視・保守しつつ、以下のサイクルで学習データの更新を行う。以下の番号は図 61 中の番号に対応している。

① 処理実績記録

全国のリサイクル拠点にてその日のうちに処理された部品数等の実績はストレージ内に記録され、夜間バッチで PFer クラウド環境のデータベースへアップロード・記録される。

② 学習データアップロード

全国のリサイクル拠点で AI 画像認識選別時にカメラで撮影された部品画像を、夜間バッチで PFer クラウド環境のデータベースへアップロードする。この部品画像データは AI の学習データとして活用される。

③ ラベル情報記録

上記②で得られた部品画像データをウェブページで閲覧できるようにし、オペレータがその画像が何の部品であるかラベル選択をする。選択したラベルはラベル情報データベースに記録される。この際、学習に不適切な画像があれば除去するクレンジングを同時に実施する。

④ ラベル情報読み取り

②の学習用画像データと、③のラベル情報をインプットに学習モデルを作成し、学習済みモデルバケットのデータを更新する。

⑤ 更新モデル取得

リサイクル拠点のシステム起動時または夜間バッチ処理で PFer クラウド環境から学習モデルを取得し、最新の学習モデルを利用できるようにする。

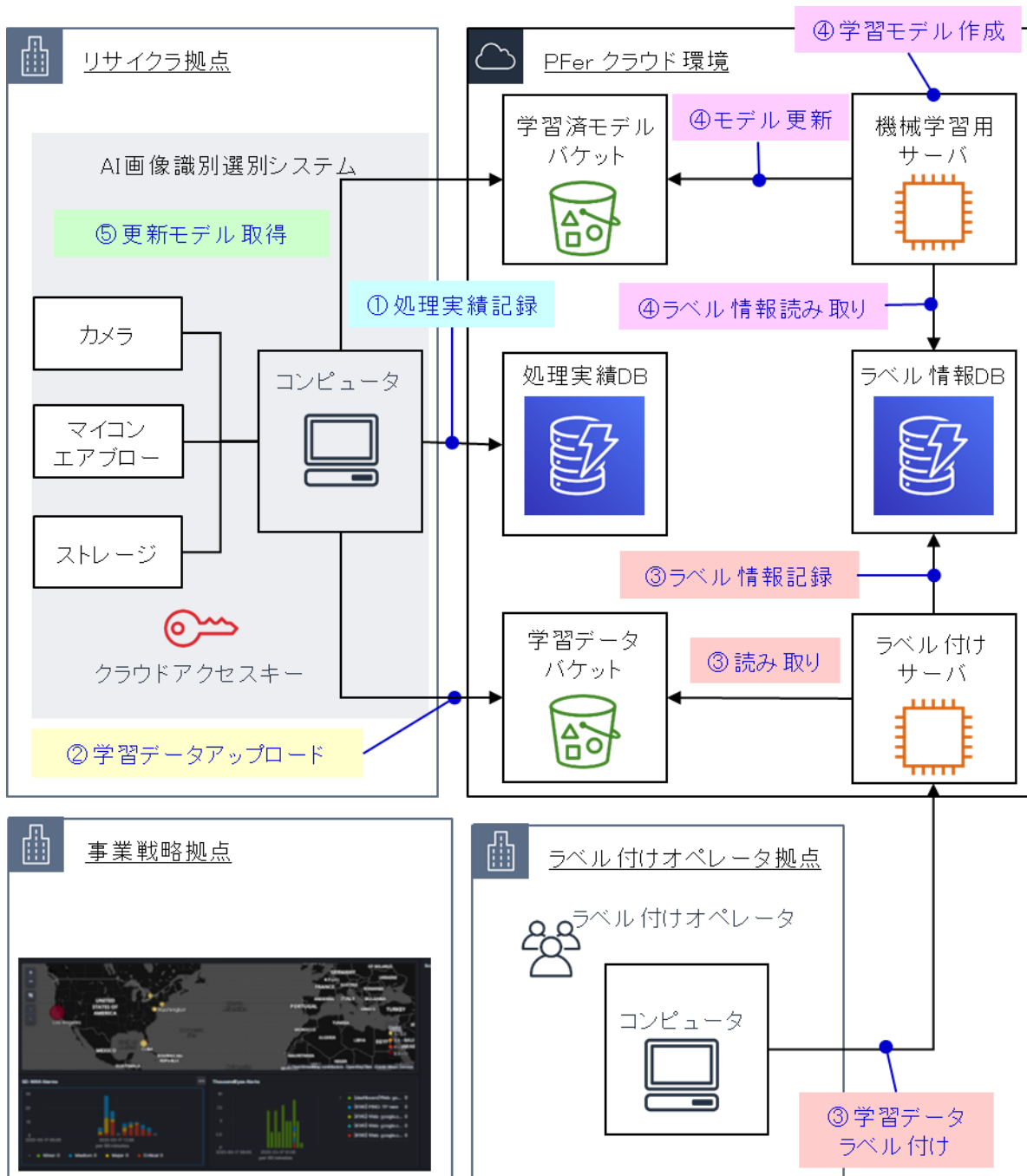


図 61 AI 画像認識選別システムの DX 事業モデル

3.1.2. リサイクラのネットワークインフラ調査

リサイクラ拠点とクラウド環境を連携するために必要となるネットワークインフラについて調査を実施した。本クラウド環境を構築するにあたり、Amazon Web Service(AWS)を利用してクラウド上にサーバ、ストレージ等をデプロイする方針で検討した。その場合、リサイクラ拠点からクラウド環境にアクセスするためには、特殊なネットワークインフラは不要であり、一般的なインターネット接続環境があれば十分である。

3.1.3. AI 画像認識選別システムの IT システムの設計・構築・テスト実証

1) クラウド環境の設計・構築・テスト

図 61 のモデルの PFe_r クラウド環境の設計・構築について、前述のとおり、AWS を使って実装した。同図中の各処理は、以下のとおり実装した。

- ① 処理実績記録は、ローカル PC 上のスクリプトにより、マイコンのシーケンサ上に保存されている記録をローカル PC にダウンロードした後、AWS 上のデータベースにアップロードする。
- ② 学習データは、ローカル PC 上では選別された電子部品名に対応するディレクトリに振り分けられている。すなわち、電子部品画像が保管されているフォルダが電子部品の選別ラベルを意味する。これを利用し、ローカル PC 上のスクリプトにより、このディレクトリ構成を保持したまま AWS のクラウドストレージにアップロードすると同時に、データベースに画像と選別部品名を結び付けて記録する。
- ③ ラベル付け作業では、Web アプリケーションに②のクラウドストレージに保存された画像を表示し、実際の部品名と選別された部品名が合致しているかを人の目で判断する。異なっているものがあれば、オペレータは Web アプリケーション上でそれを除外し、②のデータベースの選別部品名を書き換える。
- ④ 学習モデルの更新では、ラベル付け作業でラベルを書き換えたデータベースに対応した電子部品画像を入力とし、AI に学習させる。学習後の AI モデルはクラウドストレージ上の学習済モデルバケットに出力する。
- ⑤ 更新モデルの取得では、ローカル PC 上のスクリプトにより、学習済モデルバケット内に保存されている更新されたモデルをダウンロードし、AI 画像認識選別システム稼働時に動作指定されているディレクトリに保存する。

以上の構築を終え、クラウド上に用意したダミーローカル PC を疑似リサイクラ拠点とし、クラウド環境内に限定したテストを実施した。テスト結果は図 62～図 66 に示す通りであり、ダミーローカル PC 上におけるスクリプト実行も、クラウド環境のデータの受け渡しについても問題なく実行できることを確認した。

▼ AI_recycle_Processing_results テーブルの詳細の表示

スキャン クエリ

テーブルまたはインデックス
AI_recycle_Processing_results

▶ フィルター

実行する 元に戻す

完了 読みとれた読み込みギガバイト: 0.5

返された項目 (1) アクション ▼ 項目の作成

Q 実行の検索

☐	base_code ▼	processi... ▼	parts_a ▼	parts_aa ▼	parts_ab ▼	parts_b ▼	parts_c ▼	parts_d ▼	parts_e ▼
☐	test9	2021.7.4	202	201	201	202	202	221	202

図 62 処理実績 DB に記録した状況 (①テスト)

Amazon S3 > ai-recycle-photos > 00001/ > 00000001/ > 2021/09/11/ > dataset/ > 00001/ > 00001/

00001/ 55 URI をコピー

オブジェクト プロパティ

オブジェクト (125)

オブジェクトは、Amazon S3 に保存された非構造化オブジェクトです。Amazon S3 インベントリを使用して、バケット内のオブジェクトのリストを閲覧できます。このユーザーは自分のオブジェクトにアクセスできるため、適切なアクセス権限を付与する必要があります。詳細はこちら

55 URI をコピー URI をコピー ダウンロード 開く 削除 アクション ▼ フォルダの作成 アップロード

Q プレフィックスのオブジェクトを絞り込む

☐	名前 ▲	タイプ ▼	最終更新日時 ▼	サイズ ▼	ストレージクラス ▼
☐	6141.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.6 KB	スタンダード
☐	6144.png	png	2021/09/11 02:49:18 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6145.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6146.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6147.png	png	2021/09/11 02:49:18 PM +09	16.7 KB	スタンダード
☐	6148.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.4 KB	スタンダード
☐	6149.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.6 KB	スタンダード
☐	6150.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6151.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6152.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	16.5 KB	スタンダード
☐	6155.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	19.1 KB	スタンダード
☐	6158.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	19.2 KB	スタンダード
☐	6160.png	png	2021/09/11 02:49:17 PM +09	18.5 KB	スタンダード

図 63 学習データバケットにアップロードされた状況 (②テスト)

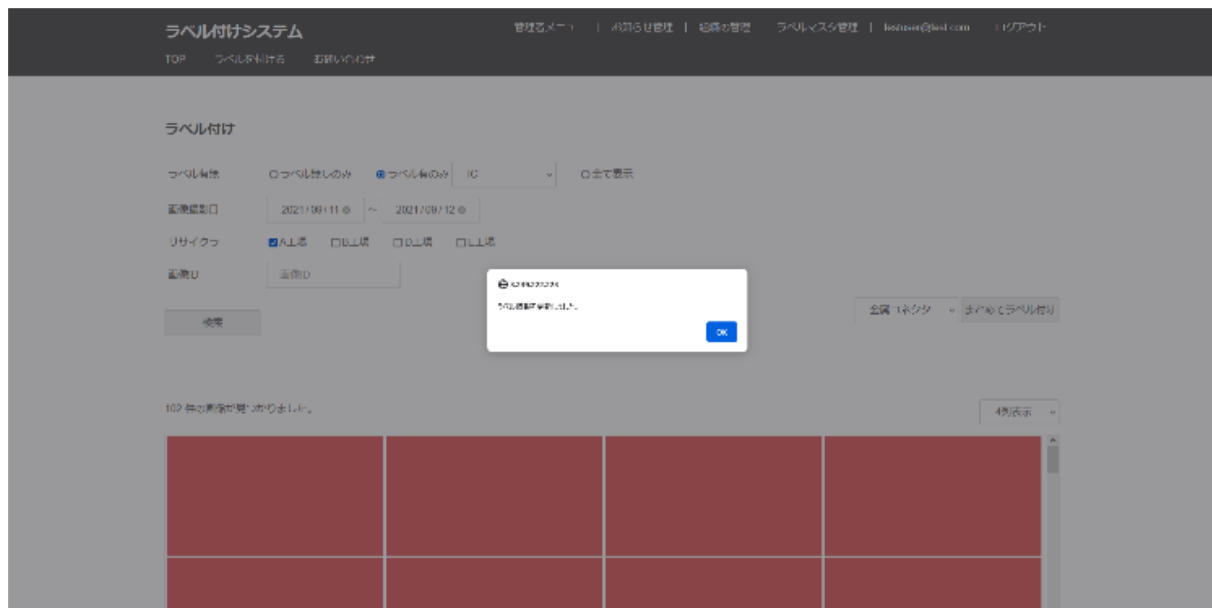


図 64 ラベル付け Web アプリケーションの動作確認 (③テスト)



図 65 学習スクリプト実行後の学習済みモデルバケット (④テスト)

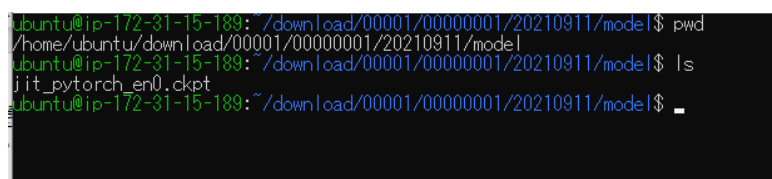


図 66 学習済みモデルバケットからダミーローカル PC へのダウンロード (⑤テスト)

2) リサイクラ拠点との連携テスト

クラウド環境限定のテスト時にはローカル PC 部分をダミーとして実施した。同テストで問題なく動作することを確認した後、アステック入江をテスト拠点としてリサイクラ拠点との接続テストを実施した。AI 画像認識選別システム試作機で実際に使用しているローカル PC にてクラウド環境連携用のスクリプトを実行し、処理実績、学習データ画像のアップロード及び更新モデルのダウンロードができることを確認した。

動作の確認ができた一方で、「1 拠点に複数台 PC が設置されることを前提としたクラウド上ストレージの仕様設計及びローカル PC の設定」、「シーケンサ上処理実績 CSV の保存仕様の設定」、

「販売設置する場合の作業スコープの明確化」といった、運用上仕様を定めておくべき課題点が明らかになった。

3.1.4. 事業化に向けた課題・対応策

1) IT システムを活用した運用性の向上

AI 画像認識選別システムをテスト拠点においてテスト稼働した際に、連続運転時の詰まり等、トラブル対応が課題として把握できた。AI モデルの継続的な更新だけでなく、トラブル対応の面においても、クラウド環境と接続されていることを活用し、詰まりなどの異常を検知する仕組みとリモート対応できる運用体制を構築し、さらなる利便性と付加価値の向上を検討する。

2) 多種多様な選別対象部品群に応じた AI の効率的学習方法の確立

実施したテスト工場での運用試験により把握したこととして、リサイクル工場により選別する部品群に特徴が異なる可能性があり、ごみの AI 学習などカスタマイズが必要になる可能性が高いことが挙げられる。そこで、リサイクル工場により特徴が異なる選別対象部品群に応じた AI の効率的学習方法を確立する。

3.2. IT システムを活用した運用性の向上および AI の効率的学習方法の確立

3.2.1. 実証概要

AI モデルの継続的な更新およびトラブル対応の面から、クラウド環境と接続されていることを活用し、詰まりなどの異常を検知する仕組みとリモート対応できる運用体制を構築する必要がある。今年度は、ユーザー別の想定シーンを検討し、実装のための必要情報の洗い出しを行った。

3.2.2. DX のユースケース整理

表 14 にユースケースの整理結果を示す。まず、No.1 から No.3 の設置先である選別会社側では、工場ごとに選別の集計結果から収益計算し、本社では全工場の集計記録を可視化する。また、工場に集まる基板等の特性に応じて、ターゲット部品の追加需要が発生した場合に、選別会社から DX 本部に AI モデルの更新を依頼する。

次に、No.4 と No.5 の精錬会社に対しては、選別システム導入先の回収物と品位のデータを積み上げて提供し、みなし確認してもらうことで、精錬分析にかかるコストを低減する。また、精錬会社側からの忌避元素の追加選別対応などをシステム導入先に依頼できるような体制を構築する。

No.6 から No.10 の DX 本部では、納品先での選別率やシステム安定稼働性を監視しつつ、マーケット状況や工場ごとの選別量に応じたビジネス提案を行い、選別率向上のためのアップデートを行う。

No.11 と No.12 の国、メーカーに対しては、政策またはメーカー戦略的にサーキュラーエコノミーの観点から重要とされる特定の電子部品の確保依頼を受け付け、システム導入先に依頼を行えるようにする。

以上のように、未回収貴金属の活用に関わる各ユーザーの希望を集約し、最適なターゲット部

品の拡張と継続的なアップデートを提供するプラットフォームの完成に向けて構築を進めている状況である。また、次年度以降、精錬事業者と連携した詳細検討についても計画中である。

表 14 DX のユースケース整理状況

NO	ユーザ	シーン	概要	詳細	必要なデータ						必要なアプリケーション					状況		
					種別	個数	画像	重量	品位	価格	処理実績	学習データ	更新モデル	重量データ	品位データ	実装予定	構築状況	備考
1	選別会社(本社)	稼働状況把握	収益管理	複数ある工場の種類別の回収物の集計結果から、日毎の収益を計算・確認する	●	●		▲	▲		●			*	*	重量計測システム協議中	重量データの取得方法要検討	シーケンサに取り込めるか
2	選別会社(工場)	稼働状況把握	収益管理	担当工場の種類別の回収物の集計結果から、日毎の収益を計算・確認する	●	●		▲	▲		●			*	*	重量計測システム協議中	重量データの取得方法要検討	シーケンサに取り込めるか
3	選別会社(本社)	アップデート	選別部品追加	新たに追加したい選別部品が発生した際、DX本部に依頼してAI更新モデルを作成してもらう			●					●	●			実装確定	実装済み(モデル更新作業の運用は検討中)	モデル更新作業は南陽確認
4	精錬会社	取引条件	取引円滑化	システム導入先の回収物と品位のデータを積み上げ、“みなし”で確認することで分析コストを低減	●	●			●		●				*	要ニーズ確認	品位データの取得方法要検討	製品変化をどうするか
5	精錬会社	取引条件	選別部品追加	忌避元素の除外厳格化などを行った際に、システム導入先に選別対応を依頼する			●					●	●			実装確定	実装済み	モデル更新作業は南陽確認
6	DX本部	稼働状況把握	稼働確認	納品直後のシステム導入先で、期待通りの選別率を達成しているか遠隔で確認する	●	●	●									実装確定	実装済み	一定時間内の画像確認のできるのではないかな
7	DX本部	アップデート	ビジネス提案	価格や新たなニーズなどマーケット状況に応じてシステム導入先に選別部品の変更提案を行う						●			●			実装確定	実装済み	モデル更新作業は南陽確認
8	DX本部	集荷状況把握	ビジネス提案	回収量が単独では精錬会社の取引量に満たないシステム導入先の回収物量を把握し共同出荷を提案する	●	●		●			●	●		*		重量計測システム協議中	重量データの取得方法要検討	シーケンサに取り込めるか
9	DX本部	稼働状況把握	稼働確認	システム導入先で、詰まりの発生や極端な回収量の低下がないかなど、システムが安定的に稼働しているかを遠隔で確認する	●	●		▲			●			*		実装確定	エラー検知は未実装	一定時間の部品個数で把握できるのではないかな
10	DX本部	アップデート	機能向上	システム導入先から得る画像データを元に、選別率の向上を図り、システム導入先のAIをアップデート			●					●	●			実装確定	実装済み	モデル更新作業は南陽確認
11	国	資源管理	資源管理	政策的に重要と考える特定資源を備蓄する際に、当該資源を含む特定の電子部品を選別部品とするようシステム導入先に依頼する	●	●		●			●		●	*		要ニーズ確認	実装済み	モデル更新作業は南陽確認
12	メーカー	資源管理	資源管理	CEの観点からリサイクル材の使用比率を向上させたり、資源を確保していくといった観点から、特定の電子部品を確保する	●	●		▲			●		●	*		要ニーズ確認	実装済み	モデル更新作業は南陽確認

4. 事業性の評価

4.1. 昨年度までの成果概要

4.1.1. 選別部品の利用用途拡大の検討

事業全体の付加価値向上に向け、プラチナ及びイリジウム含有部位分離後の着火プラグからのニッケル回収の検討を行い、回収したニッケル等の資源価値について試算した。

ニッケルの回収にあたり、事業性を高めるためには加工コストを低減することが重要であるため、人手を介さない方法として、塩化鉄プロセスによるニッケル回収を4本の着火プラグをサンプルとして試験的に実施した。塩化鉄プロセスにより着火プラグを溶解している状況を図 67 に、着火プラグの溶解前後比較を図 68 に示す。8日経過した状態で、セラミック部分以外の金属部分がほぼ溶解していることが見て取れた。溶解した金属の評価を行ったところ、鉄、ニッケル、銅が溶解していることが認められ、純度はそれぞれ 95.7%、1.5%、2.8%であった。ここから、着火プラグ 10t あたりの評価を試算した。試算結果は表 15 に示す。ここで、評価係数とは、各金属の純度に応じて受入側で設定される係数である。最も高価値で取引できるのは、高純度の鉄であり、10t の着火プラグから 456,992 円のスクラップ材として売却できることがわかった。ニッケル、銅については、それぞれ LME、国内同相場（2021 年 12 月時点）の金額から算出している。溶け残ったセラミックは埋め立て処分する必要があるが、輸送費を除いた埋立費は 8,500 円/t であり、溶け残ったセラミックは溶解前の質量比で 46.17%となるから、10t 分の着火プラグの場合は 39,166 円と試算できる。ここまでの塩化鉄プロセスによる採算性と、手作業分離する Pt 部分の採算性をまとめた着火プラグ全体の事業採算性を表 16 に示す。Pt 回収の手作業においても、塩化鉄プロセスにおいても採算がとれることがわかり、10t 処理した際の粗利は 3,331,983 円を試算できた。



図 67 着火プラグの溶解状況

溶解前

溶解後(8日後)



図 68 着火プラグの溶解前後比較

表 15 溶解金属の評価試算

	純度 (%)	含有量 (t)	総評価額(円)	評価係数	評価額 (円)
鉄	95.7	9.55	467,992	1.00	467,992
ニッケル	1.5	0.15	310,328	0.015	4,655
銅	2.8	0.28	195,608	0.028	5,477

表 16 着火プラグ全体の事業採算性

作業	収入		支出		粗利
手作業分離	Pt	3,587,025	分離人件費	694,000	2,893,025
塩化鉄プロセス	Fe	467,992	セラミック埋立費	39,166	438,958
	Ni	4,655			
	Cu	5,477			
合計		4,065,149		733,166	3,331,983

4.1.2. PGM 含有率のばらつきの検討

2.2.3 にて分離したイリジウム及びプラチナ検体の分析を、PGM 回収に興味を示している茨城県の精錬事業者へ依頼した。分析結果は表 17 に示すとおりである。中心電極のみの検体のイリジウム含有率が 43.08%と突出して高く、同社の過去の取引実績から見て、十分に取引可能な水準であるとの回答が得られている。一方、中心電極と外側電極を合わせた検体はイリジウム含有率が 2%程度であり、取引条件の提示には別途 200g～300g の検体が必要となるとの回答であった。引き続き、福祉連携スキームにより検体量を確保し、取引条件を含めた分析を依頼する予定である。

表 17 着火プラグ成分分析結果

PGM 含有部位	Ir 含有率 (%)	Pt 含有率 (%)
中心電極＋外側電極	2.25	1.56
中心電極	43.08	1.41

4.1.3. 事業採算性の評価

1) アステック入江を想定した事業採算性の評価

アステック入江における処理規模における、令和 2 年度と昨年度の建値の変動を考慮した売却益を計算した。建値の条件は、Au は令和 2 年度 5,475 円/g から昨年度 6,200 円/g、Ag は令和 2 年度 63 円/g から昨年度 80 円/g、Pd は令和 2 年度 7,965 円/g から変動なし、Cu は 500 円から変動なしとなっている。計算の結果は図 69 の通りとなった。現在の処理基板 1kg あたりの売却益と比較して、令和 2 年度建値ベースでみると 18.3 円 (13.6%) 増加し、さらにアルミを選別し脱酸剤として売却できる場合にはさらに 1.0 円 (0.7%) 増加して約 150 円/kg である。昨年度建値ベースでみると、17.7 円 (12.5%) 増加し、さらにアルミを選別し脱酸剤として売却できる場合にはさらに 1.0 円 (0.7%) 増加して約 170 円/kg であった。

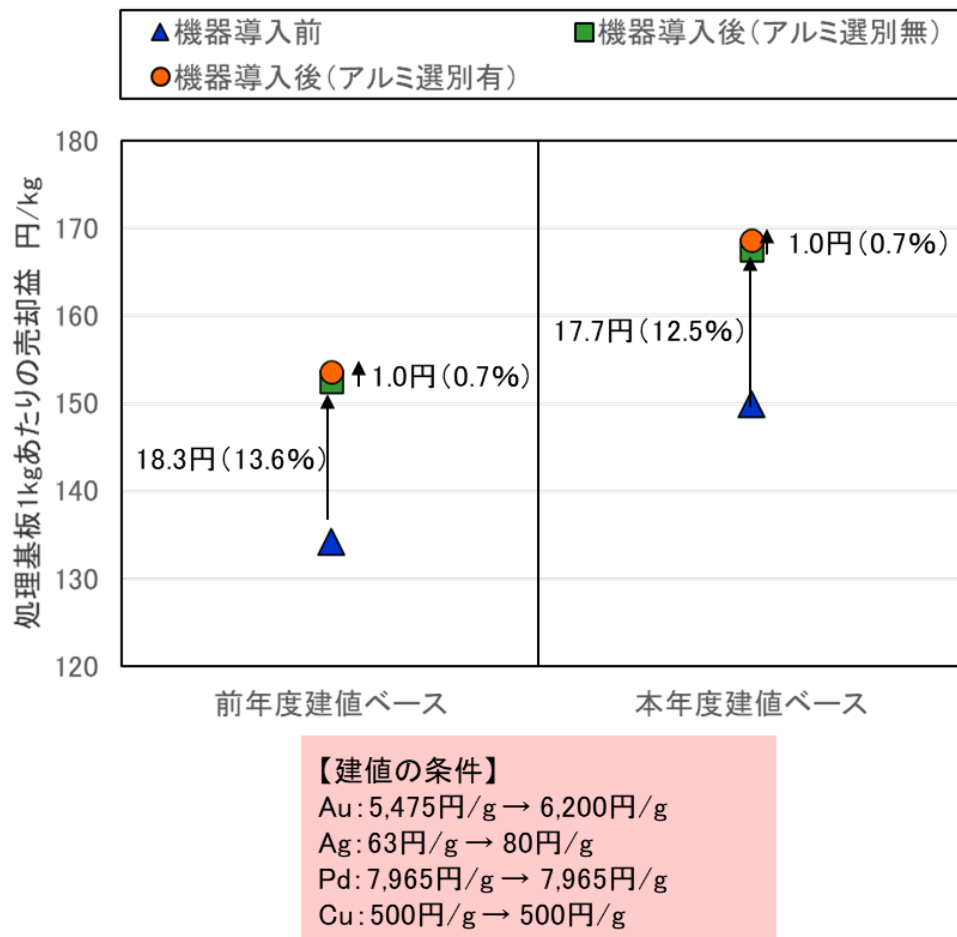


図 69 アステック入江を想定した処理基板 1kg あたりの売却益

2) 設備投資を回収すると想定した場合の投資額の試算

AI 画像認識選別システムの前工程として、アステック入江のもつ蒸気分離装置が導入されていることを前提とし、前述の昨年度ベースの売却益で推移すると想定した場合に、設備投資を 7 年で回収できる設備投資額の上限金額を試算した。試算の結果は図 70 に示す通りであり、蒸気分離装置を含め 7,700 万円以下であれば 7 年で回収可能であることがわかった。現時点での想定価格は同価格を下回る見込みであるが、システム運用コストの詳細検討を行う必要がある。

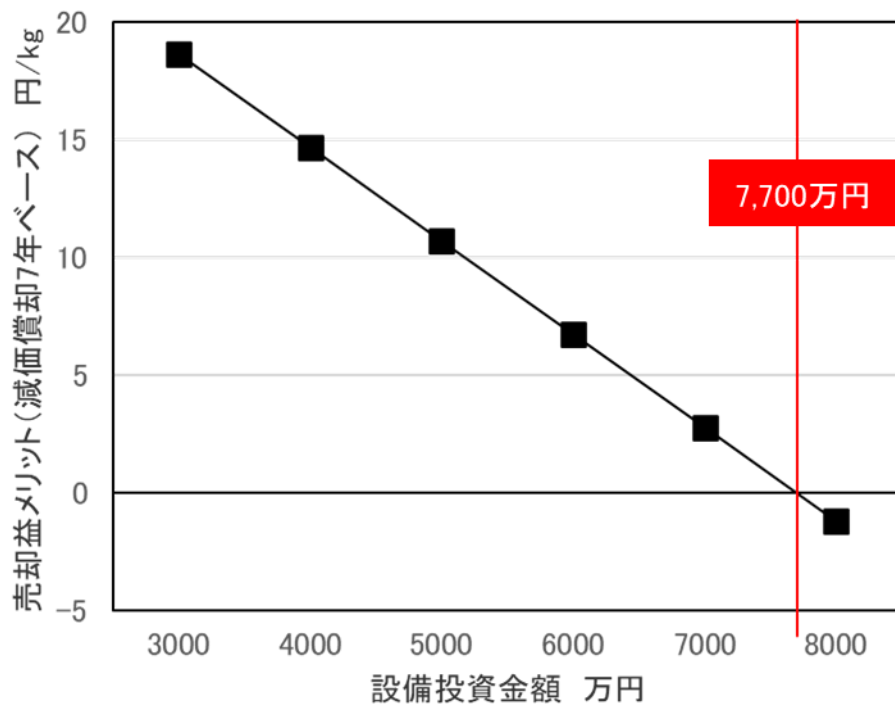


図 70 7 年で設備投資を回収する場合の上限額

3) レターパック回収本数と収支

1 枚のレターパックで回収された本数別の回収コストと加工費、着火プラグから回収された Pt・Ir 含有部位を精錬事業者へ売却した際の収支を計算した。なお、売却価格は 2020 年 1 月ベースと 12 月ベースの 2 種類で試算した。試算の結果は図 71 に示すとおりであり、レターパックで 30 本以上回収した場合に収支はプラスになることがわかった。ここから事業利益と回収協力者へのインセンティブを捻出することが必要である。

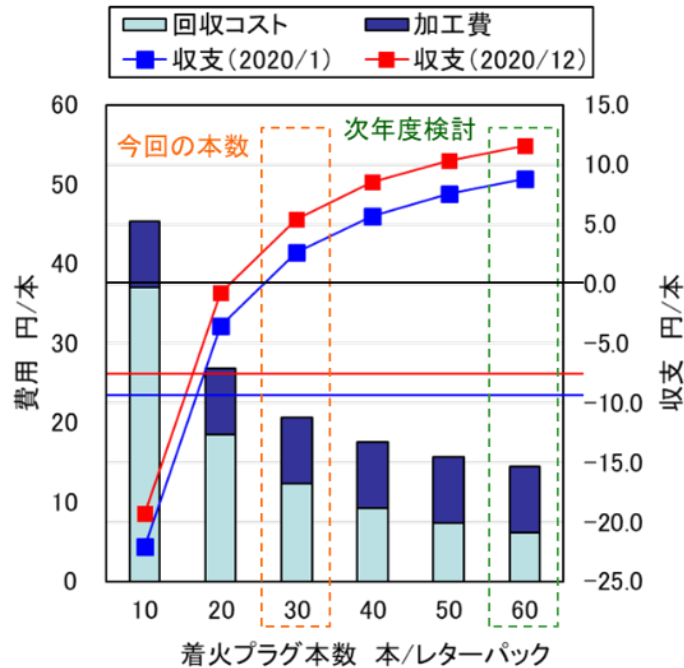


図 71 レターパックによる回収コスト別の収支

4) Pt、Ir 含有量と収支

着火プラグから分離する外側電極 (Pt 含有部位) と中心電極 (Ir 含有部位) に含まれる Pt・Ir の割合が収支に与える影響を試算した。Ir、Pt がそれぞれ 1% 増えると、収支がそれぞれ 0.3 円、3.1 円増加することになる。本事業に興味を示す精錬事業者からは、これら以外に含まれるロジウムも評価できるか検討を進めたいとの意向を確認済みであり、加えて、分離後に残る Ni 含有部位は塩化鉄プロセスにより有価取引できるか詳細検討を行う。

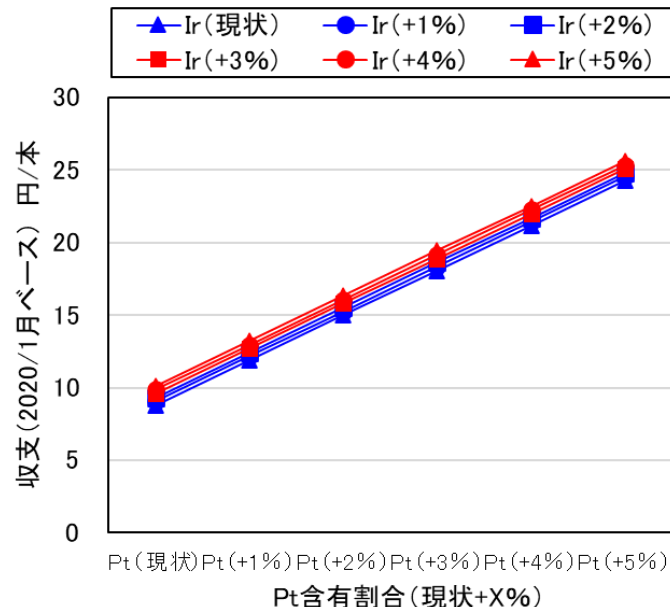


図 72 Pt、Ir 含有量と収支

4.2. 事業拡大に伴う導入コストの低減や IT システム運用コスト低減の検討

前述の通り、昨年度までに、回収した PGM の資産価値の試算およびレターパック回収コストについての評価を行った。今年度は、AI 画像認識選別システムについて、導入規模を設定し、ス

ケールメリットによる導入コストの低減を検討した。また、IT システム運用コストを明らかにし、特にデータ容量が大きくなることが想定される画像情報の保持方式を工夫するなどして運用コストの低減を検討した。

4.2.1. 試算条件

アステック入江における 1 日あたりの処理量および画像データ保存量を元に、導入拠点数が増えた場合のクラウド PF 運用コストを試算した。コストの大部分を占めるのは、①AWS のストレージサービスである S3 の月額使用料、②保守運用エンジニアの人月単価である。S3 ではライフサイクル（データを指定期間保存した後の動作ルール）を指定でき、今回は 7 日後、15 日後、30 日後に破棄するルールで比較した。

コストの試算を行うにあたって、表 18 に示す前提条件を設定した。1 拠点で 1 日に処理する総画像サイズは 0.381 TB、ファイル数は 334,748 枚であり、1 ファイル当たり平均 1,140KB である。

表 18 コスト試算の前提条件

項目	数値	単位
基板処理量	1	t/日
画像サイズ	0.381	TB/日・拠点
画像ファイル数	334,748	枚/日・拠点
保守運用人件費	50	万円/月・人
通貨レート	129.51	円/ドル

4.2.2. 試算結果

図 73 に想定されるクラウド PF 運用コストを示す。ライフサイクルが長いほど、導入拠点数が増えるほど必要となる S3 容量が大きくなるため月額コストも大きくなる。

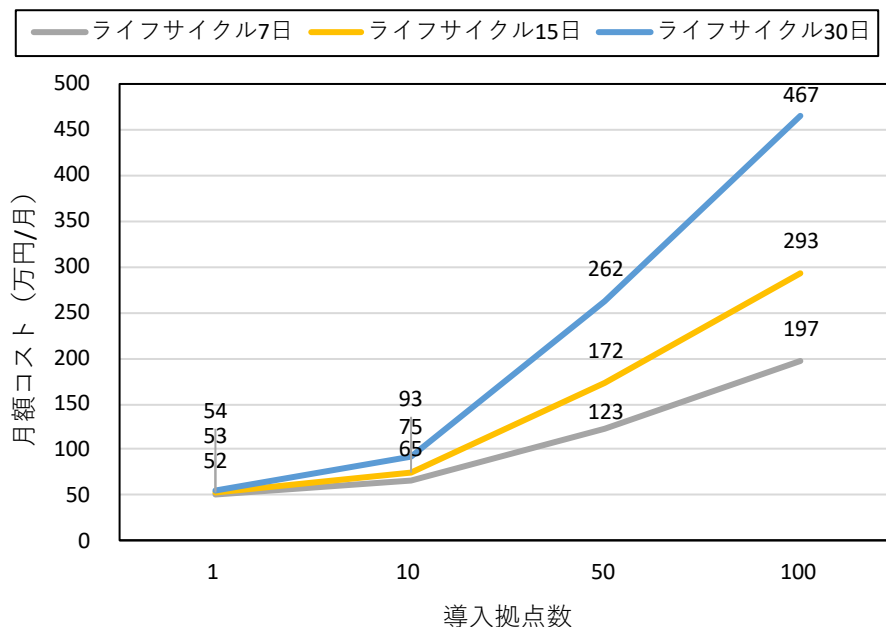


図 73 クラウド PF 運用コスト

一方で、1 拠点あたりの運用コストについて試算を行った結果を図 74 に示す。導入拠点数が増え

るほど、拠点当たりの運用コストは低減される見込みである。おおよそ 50 拠点以上から拠点当たりの月額コストは横ばいになり、ライフサイクルによるコストへの影響も小さい。コストを抑えるためには、画像 1 ファイルあたりのサイズ（現状 1 枚あたり平均 1,140kB）を抑える等の軽量化に向けた工夫が必要である。

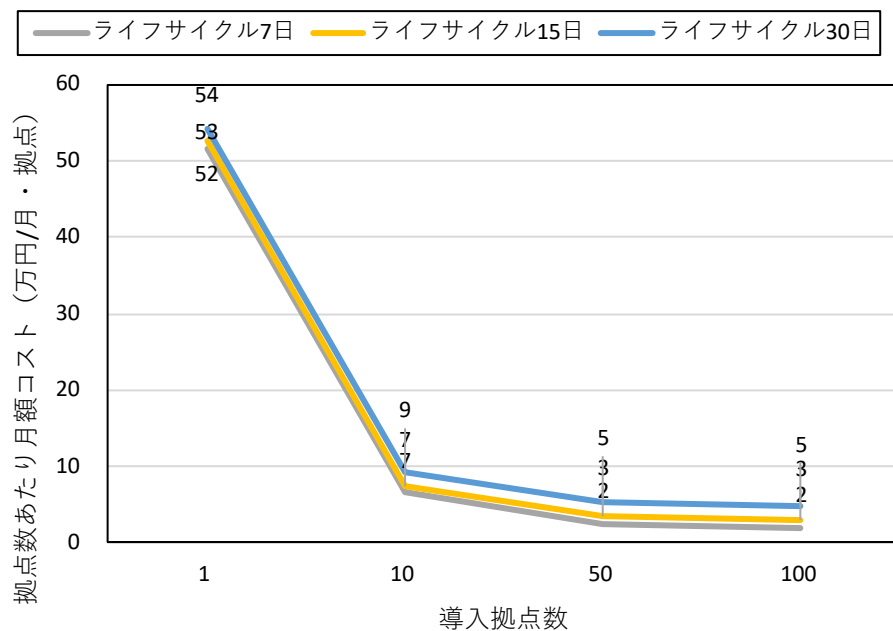


図 74 拠点あたりの PF 運用コスト

5. 環境影響改善評価および CO2 排出量削減効果の評価

5.1. インベントリ・バウンダリの考え方

本事業における CO2 削減効果を測定するにあたり、着火プラグ・O2 センサー、電子基板のそれぞれについて、ベースラインを設定し、本事業において比較するバウンダリについて検討した。

5.1.1. 着火プラグ・O2 センサーのインベントリ・バウンダリ（図 75 参照）

1) インベントリにおけるベースラインシナリオ：

本事業における調査結果により、現状では整備工場から手解体により発生する着火プラグ・O2 センサーは一般的に整備工場から発生する産業廃棄物の一部として廃棄されている。（極一部が台湾などの人件費が安い海外へ輸出されている。）

よって、着火プラグ・O2 センサーは産業廃棄物の一部として、混載輸送で回収され、破碎・選別等により、電炉鉄などの原料としてリサイクルされていると推測され、廃製品に含まれるプラチナ・イリジウム等の貴金属元素は鉄の微量元素として散逸している可能性が高いと考えられる。

2) インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ：

本事業では、整備工場において手解体により発生する着火プラグ・O2 センサーを保管してもらい、一定量（ゆうパックに入る数量または重量）が溜まった時点で郵送（混載）による回収を行う。回収された着火プラグ・O2 センサーは、貴金属を含む着火プラグ、貴金属を含まない着火プラグ、O2 センサーの 3 種類に手選別を行う。

貴金属を含む着火プラグは 2.2.7 1) の通り、ヤスリ、ニッパーを使った手作業により、イリジウム部分（着火プラグの種類によっては、プラチナ部分が回収できる場合もある）を分離・回収する。

O2 センサーは 2.2.7 2) の通り、高速回転機による切断を行うことで、金属製筒状部品の内側にあるプラチナが塗布されたセラミックス部品を取り出し、回収することができるようになる。

上記着火プラグ及び O2 センサーから回収されたイリジウム・プラチナ含有物は精錬の原料として売却することでイリジウム・プラチナの地金としてリサイクルすることができるようになる。

貴金属を含まない着火プラグはベースラインと同じく産業廃棄物として廃棄するものとする。

3) バウンダリの設定

まず、ベースラインにおける着火プラグ・O2 センサーの回収にかかる CO2 排出量と、本事業において、着火プラグ・O2 センサーを回収し、精錬へ売却する原料となる状態まで加工することにかかる CO2 排出量を比較する。

次に、本事業により回収したプラチナ・イリジウム含有物を精錬した場合にかかる CO2 排出量と、貴金属の鉱石を鉱山から採掘、輸送、精錬することにかかる CO2 排出量と比較した。ベースラインでは散逸していた貴金属元素をリサイクルできることにより、経済的にも資源戦略的にも重要な取り組みであり、世界的なバウンダリで見た場合の CO2 排出量の削減を達成することが可能であると考ええる。

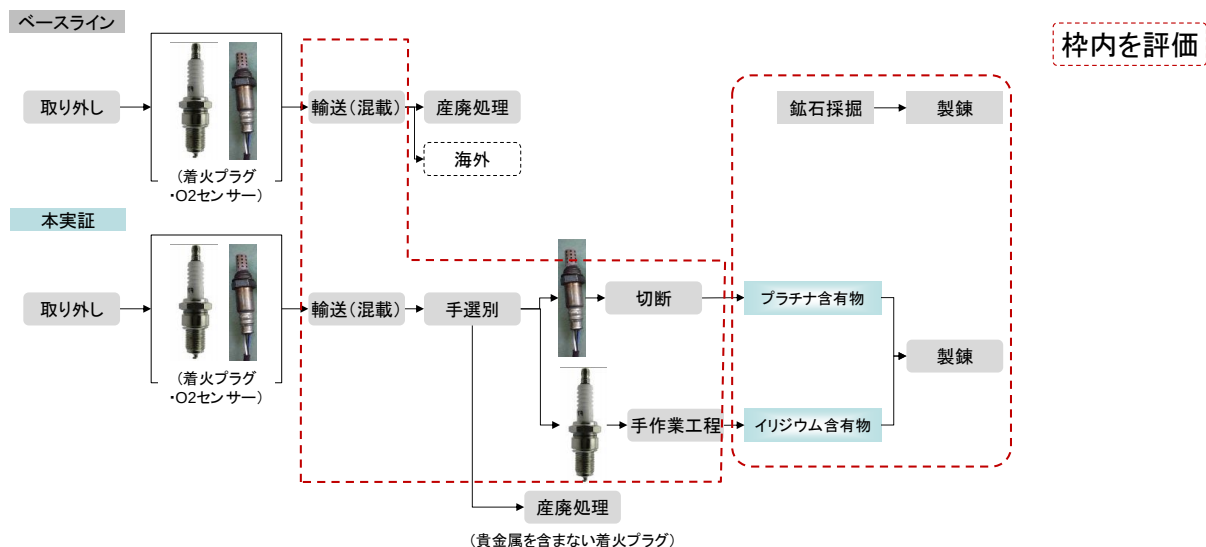


図 75 着火プラグ・O2 センサーのバウンダリ

5.1.2. 電子基板のインベントリ・バウンダリ（図 76 参照）

1) インベントリにおけるベースラインシナリオ：

本事業の既存技術である蒸気分離プロセスにおいて、これまで電子基板から分離した電子部品は、主に IC 類、コネクタ、混合部品の 3 種類（更に電子部品を分離後の基板がある）に選別され、混合部品については、選別せずに湿式精錬の原料として売却し、湿式精錬では主に金・銀・パラジウムを地金として回収する。

2) インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ：

本事業では、蒸気分離後の選別から回収される混合部品について、画像認識による AI 自動選別を行い、金・銀・パラジウム・ルテニウムなどを対象として、「貴金属含有部品」と貴金属含有量が少ない「その他部品」に区分する。

貴金属含有部品については、金・銀・パラジウムを対象にベースラインと同じく湿式精錬の原料として売却し、湿式精錬で金・銀・パラジウムを地金として回収する。

3) バウンダリの設定

ベースラインにおいて、混合部品全量を湿式で精錬する場合と、本事業において貴金属含有部品だけを湿式で精錬した場合にかかる CO2 排出量を比較する。（ルテニウムを含有する部品の重量は微量であり、現時点ではルテニウムを精錬できる事業者と連携に向けた検討中であるため、評価対象外とした。また、「その他部品」についても、精錬で回収可能な金・銀濃度が含まれており、今後、湿式精錬以外への売却可能性も含めて検討可能である。）

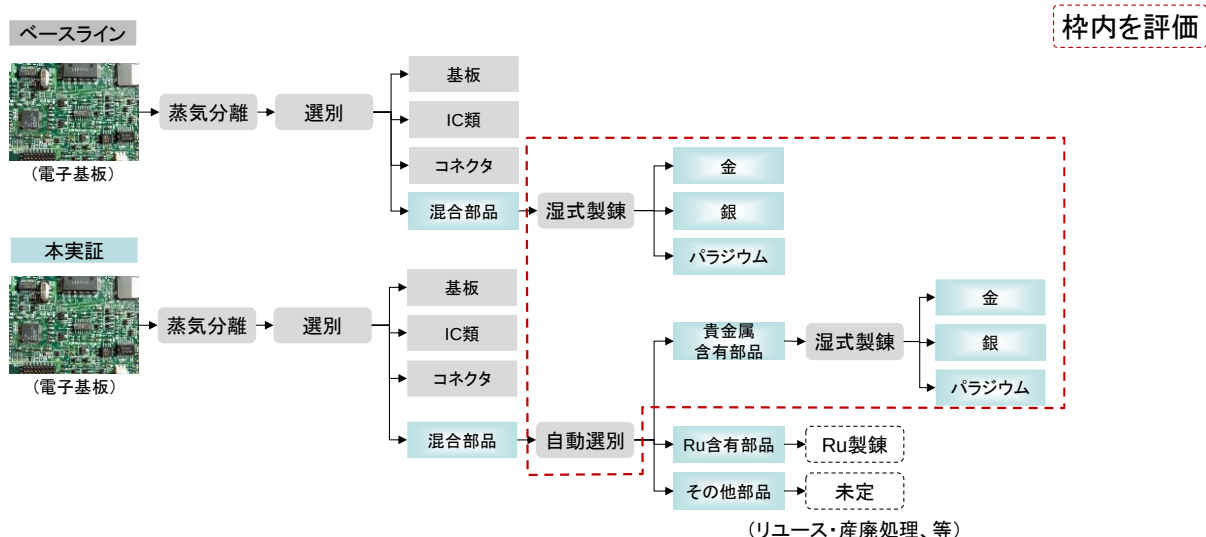


図 76 電子基板のバウンダリ

5.2. 昨年度までの CO2 削減効果の試算概要

5.2.1. 着火プラグ・O2 センサー（図 77 参照）

1) 評価の前提条件

- (1) 輸送については、着火プラグ・O2 センサーをそれぞれ 100 本ずつ、回収した場合にベースラインと本事業の輸送にかかる CO2 排出量をそれぞれ算出する。
輸送距離については、ベースラインは近隣の資源リサイクルへ輸送するものとして 50km と設定し、本事業では全国から代表事業者の工場へ収集するため 300km と設定している。
輸送にかかる CO2 排出係数は、(一社) 産業環境管理協会 IDEAv2.3：製品コード 441111304 「トラック輸送サービス, 4 トン車, 積載率_平均」をもとに、0.294kg-CO2/tkm としている。
- (2) PGM 含有部位の分離については、O2 センサーのみ高速回転機による切断を行うため、100 本の切断にかかる CO2 排出量を算出する。
高速回転機による切断にかかる電力は実測により、0.012kWh/本であり、電力 1kWh にかかる CO2 排出係数は東京電力の 2018 年度実績である 0.455kg-CO2/kWh としている。
- (3) 本事業においてプラチナ・イリジウム含有物の重量と貴金属成分含有量（品位）をもとに貴金属成分量を算出した。また、ベースラインにおいて、本事業と同等の貴金属成分量に相当する鉍石重量を算出した。プラチナ・イリジウム含有物重量と鉍石重量に基づいて、それぞれの精錬にかかる CO2 排出量を算出する。
CO2 排出係数はいずれも (一社) 産業環境管理協会 IDEAv2.3 を参照しており、鉍石採掘から輸送は製品コード 053125000 「貴金属鉍石（金銀鉍），精鉍」をもとに 0.144kg-CO2/kg-鉍石とし、鉍石精錬は製品コード 241912000 「金地金（金鉍石原料）」をもとに 0.193kg-CO2/kg-鉍石としている。また、同 LCA データにおける貴金属鉍石の貴金属含有量（品位）は 20g/t となっている。

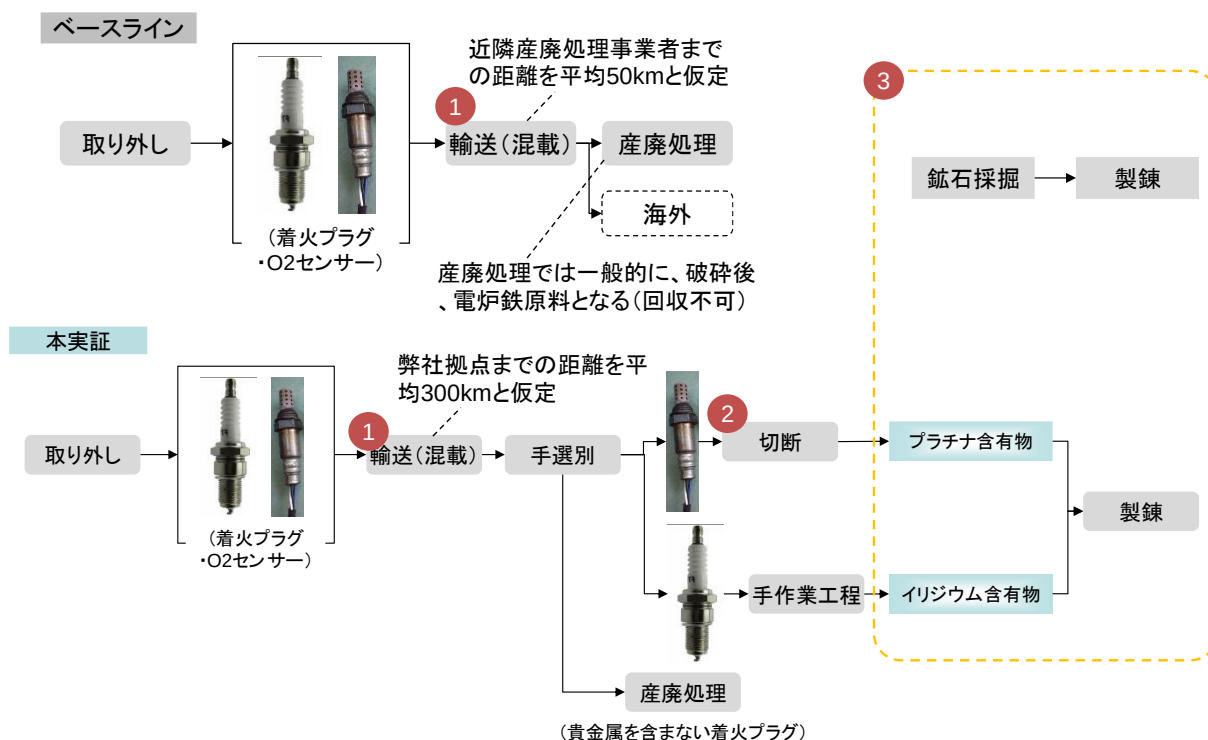


図 77 評価の前提条件

2) 評価結果

(1) 輸送による CO2 排出量

着火プラグ・O2 センサーをそれぞれ 100 本輸送した場合の CO2 排出量は表 19 の通りとなった。

ベースライン：0.156kg-CO2+0.057kg-CO2=0.213kg-CO2

本事業：0.550kg-CO2+0.203kg-CO2=0.753kg-CO2

表 19 輸送による CO2 排出量

対象 (100 本あたり)		輸送重量 (kg)	運搬距離 (km)	CO2 係数 (kg-CO2/tkm)	CO2 排出量
O2 センサー	ベース ライン	10.59	50	0.294	0.156kg-CO2
	本事業		300	0.173	0.550kg-CO2
着火 プラグ	ベース ライン	3.91	50	0.294	0.057kg-CO2
	本事業		300	0.173	0.203kg-CO2

(2) PGM 含有部位の分離における CO2 排出量

着火プラグについては、ヤスリ・ニッパーを使った手作業であるため、分離において CO2 は発生しない。

O2 センサーは、高速回転機により切断する際、実測で 1 本あたり 0.012kWh となった。よって、100 本切断するのにかかる電力は 1.2kWh であり、CO2 排出量は 0.546kg-CO2 となった。

表 20 PGM 含有部位の分離における CO2 排出量

対象 (100 本あたり)	消費電力 (kWh)	CO2 係数 (kg-CO2/kWh)	CO2 排出量
O2 センサー	1.2	0.455	0.546kg-CO2

(3) 分離部位の精錬による CO2 削減効果

着火プラグから分離可能なイリジウム含有物の重量は 0.01g/本であり、分析により、イリジウムの品位は 20.2%であった。よって、着火プラグ 100 本あたりに含まれるイリジウム重量は 0.202g となる。

O2 センサーから分離可能なプラチナ含有物の重量は 0.1g/本であり、分析により、プラチナの品位は 4.8%であった。よって、O2 センサー100 本あたりに含まれるプラチナ重量は 0.48g となる。

よって、本事業で着火プラグ・O2 センサーをそれぞれ 100 本処理した際に回収できるイリジウム・プラチナ含有物の重量は 11g であり、その中に 0.682g の貴金属が含まれ、これを貴金属鉱石 (20g/t) に換算すると、34.1kg-鉱石に相当する。

ベースライン：

【採掘にかかる CO2】 $34.1\text{kg-鉱石} \times 0.144\text{kg-CO2/kg-鉱石} = 4.910\text{kg-CO2}$

【精錬にかかる CO2】 $34.1\text{kg-鉱石} \times 0.193\text{kg-CO2/kg-鉱石} = 6.572\text{kg-CO2}$

本事業：

【精錬にかかる CO2】 $0.011\text{kg-鉱石} \times 0.193\text{kg-CO2/kg-鉱石} = 0.002\text{kg-CO2}$

表 21 分離部位の精錬による CO2 削減効果

対象		鉱石重量 (kg-鉱石)	CO2 係数 (kg-CO2/kg-鉱石)	CO2 発生量	合計
ベースライン	鉱石採掘	34.1	0.144	4.910kg-CO2	11.482kg-CO2
	地金精錬		0.193	6.572kg-CO2	
本事業	地金精錬	0.011	0.193※	0.002kg-CO2	0.002kg-CO2

3) まとめ

表 22 の通り計算し、着火プラグ・O2 センサーをそれぞれ 100 本回収・リサイクルした場合の CO2 削減効果は 10.394kg-CO2 となる。

表 22 本事業による CO2 削減効果

対象		鉱石重量 (kg-鉱石)	CO2 係数 (kg-CO2/kg-鉱石)	CO2 発生量	合計
ベースライン	回収	0.156kg-CO2+0.057kg-CO2=0.213kg-CO2			11.695kg-CO2
	鉱石採掘	34.1	0.144	4.910kg-CO2	
	地金精錬		0.193	6.572kg-CO2	
本事業	回収+切断	0.550+0.203+0.546=1.299kg-CO2			1.301kg-CO2
	地金精錬	0.011	0.193*	0.002kg-CO2	
本事業による CO2 削減効果					10.394kg-CO2

5.2.2. 電子基板

1) 評価の前提条件 (図 78 参照)

ベースラインにおいて、電子基板 30t から回収される混合部品の重量は 1,533kg となっており、貴金属含有量は 6,070.6g となっている。

本事業では、電子基板 30t から回収される混合部品 1,533kg を自動選別により、貴金属含有部品として 594kg を回収し、貴金属含有量は 5,675.3g となった。

本事業の自動選別により、貴金属に関しては、総重量を 61.3%削減し、貴金属重量は選別前の約 93.5%を回収 (パラジウムについては 100%回収) することが可能となった。貴金属濃度はベースラインの 3,960mg/kg に対し、9,556.1mg/kg となり、約 2.4 倍濃縮されていることが分かる。

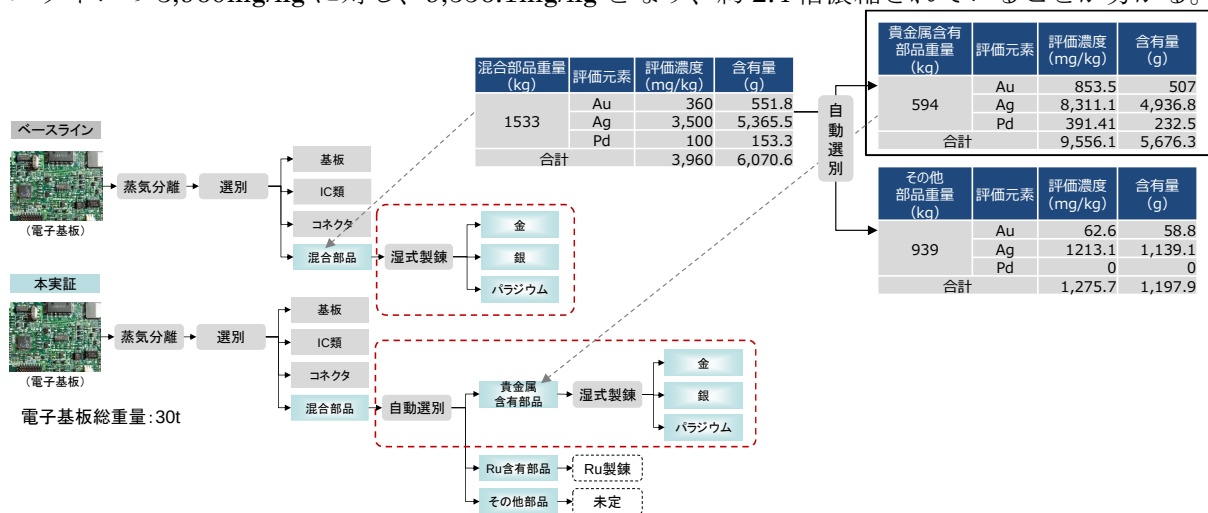


図 78 評価の前提条件

2) ベースラインにおける混合部品の湿式精錬による CO2 排出量

ベースラインでは、電子基板 30t あたりの混合部品総重量 1,533kg に対し、貴金属濃度は 3,960mg/kg である。ここで、酸溶解工程における硝酸の排出係数は 1.467kg-CO2/kg とし、濃度 3,960mg/kg の原料を溶解する際にかかる CO2 排出量は 806.11kg-CO2/kg-貴金属と算出した。酸溶解後の精製、晶析、焼成の各工程については、一律 65.4kg-CO2/kg-貴金属とした。以上から、ベースラインの湿式精錬にかかる CO2 発生量は 871.49kg-CO2/kg-貴金属 (①) とした。

3) 自動選別の電力消費にかかる CO2 排出量

AI 画像認識選別システムによる自動選別にかかる電力量は実測値で 5kWh/5.676kg-貴金属であった。電力の排出係数を 0.455kg-CO2/kWh とし、自動選別後の貴金属含有量を 5.676kg-貴金

属とすると、貴金属 1kg の部品選別にかかる CO₂ 発生量は、0.4kg-CO₂/kg-貴金属 (②) と算出した。

4) 貴金属含有部品の湿式精錬による CO₂ 排出量

AI 画像認識選別システムによる選別後の貴金属含有部品総量を 594kg とし、貴金属濃度を 9,556.1mg/kg とする。貴金属濃度により酸溶解工程で使用する硝酸重量が変動するものとし、硝酸の CO₂ 排出係数は 1.467kg-CO₂/kg とし、濃度 9,556.1mg/kg の原料を溶解する際にかかる CO₂ 排出量は 335.05kg-CO₂/kg-貴金属と算出した。酸溶解後の精製、晶析、焼成の各工程については、一律 65.4kg-CO₂/kg-貴金属とした。

以上から、選別後部品の湿式精錬にかかる CO₂ 発生量を 399.42kg-CO₂/kg-貴金属 (③) とした。

5) まとめ

本事業による CO₂ 削減効果は、上記混合部品の湿式精錬 CO₂ 排出量 (①) - 自動選別にかかる CO₂ 排出量 (②) - 選別後貴金属含有部品の湿式精錬 CO₂ 排出量 (③) として算出できる。計算の結果、CO₂ 削減効果は 471.67kg-co₂/kg-貴金属となる。

従前では回収されていなかった Ta や AI 画像認識選別システムにより濃縮されることで回収率が上がる素材の循環量増大に伴う資源循環による環境影響改善効果は本年度評価する。

(参考)

アステック入江における年間の基板リサイクル量は約 240t であり、本事業技術を適用した場合、回収できる貴金属重量は、45.41kg となり、CO₂ 削減効果は、21.419t-CO₂/年となる

5.3. 事業における環境影響改善効果および CO₂ 排出量削減効果の評価

本年度は電子基板のみを実証事業の対象としていることから、電子基板について CO₂ 排出量の削減効果の評価した。

5.3.1. インベントリ・バウンダリ

1) インベントリにおけるベースラインシナリオ

本事業の既存技術である蒸気分離プロセスにおいて、これまで電子基板から分離した電子部品は、主に IC 類、コネクタ、混合部品の 3 種類 (更に電子部品を分離後の基板がある) に選別され、混合部品については、選別せずに湿式精錬の原料として売却し、湿式精錬では主に金・銀・パラジウムを地金として回収する。

2) インベントリにおける比較対象となる本事業のシナリオ

本事業では、蒸気分離後の選別から回収される混合部品について、画像認識による AI 自動選別を行い、金・銀・パラジウム・ルテニウムなどを対象として、「貴金属含有部品」と貴金属含有量が少ない「その他部品」に区分する。

貴金属含有部品については、金・銀・パラジウムを対象にベースラインと同じく湿式精錬の原料として売却し、湿式精錬で金・銀・パラジウムを地金として回収する。

3) バウンダリの設定

ベースラインにおいて、混合部品全量を湿式で精錬する場合と、本事業において貴金属含有部品だけを湿式で精錬した場合にかかる CO₂ 排出量を比較する。

5.3.2. 評価の前提条件

1) ベースラインシナリオにおける金属含有量

蒸気分離プロセスにおいて月間 30t の基板を処理した場合に回収した混合部品の金属含有量は下表の通りである。

表 23 混合部品の金属含有量

種類	含有量 kg
Au	2.98
Ag	10.02
Pd	0.06
Cu	1041.00
Ta	0.00
Ru	0.00

2) 本事業のシナリオにおける金属回収量

一方、混合部品を AI 自動選別により選別した貴金属含有部品の金属含有量は下表の通りである。

表 24 貴金属含有部品の金属含有量

種類	含有量 kg
Au	3.29
Ag	13.83
Pd	0.23
Cu	1072.00
Ta	24.00
Ru	0.01

3) 自動選別の消費電力量

自動選別ラインの定格消費電力は 8kW、処理量は 1t-基板/日（8 時間）であることから、 $8\text{kW} \times 8\text{h/日} \div 1\text{t-基板/日} = 64\text{kWh/t-基板}$ である。

5.3.3. CO2 削減量の評価

1) 回収した金属のリサイクルによる CO2 削減量

前述の通り、ベースラインシナリオと本事業のシナリオにおける金属回収量は、本事業のシナリオの方が増加する。ここで、ベースラインシナリオにおいても本事業のシナリオにおいても回収された金属はリサイクルされることから、各金属がリサイクルされた場合の CO2 削減効果を定め、ベースラインシナリオと本事業のシナリオとを比較して増加した各金属含有量に乗じることによって CO2 削減効果を算出した。各金属がリサイクルされた場合の CO2 削減効果は、下表の通り設定した。ここで、パラジウムデータの IDEAv3.1 にないことから、プラチナのデータで代替することとした。

表 25 各金属のリサイクルによる CO2 削減効果の設定

項目	コード	製品名	原単位 kg-CO2/kg
Au	232911000pJPN	金再生地金、金合金	1.73E+04
Ag	232912000pJPN	銀再生地金、銀合金	3.74E+02
Pd	233915000pJPN	白金・同合金展伸材	1.06E+03
Cu	232913000pJPN	銅再生地金、銅合金	2.25E+00
Ta	231919242pUSA	金属タンタル、インゴット	7.39E+01

表 26 金属のリサイクルによる CO2 削減効果

項目	導入前	導入後	差異	CO2 削減原単位	CO2 削減効果	
	kg	kg	kg	kg-CO2/kg	kg-CO2	t-CO2
Au	2.98	3.29	0.31	1.73E+04	5.42E+03	5.42
Ag	10.02	13.83	3.81	3.74E+02	1.43E+03	1.43
Pd	0.06	0.23	0.17	1.06E+03	1.85E+02	0.18
Cu	1041.00	1072.00	31.00	2.25E+00	6.99E+01	0.07
Ta	0.00	24.00	24.00	7.39E+01	1.77E+03	1.77
合計						8.87

2) 自動選別の消費電力量による CO2 排出量

電力の CO2 排出係数を 0.000453tCO2/kWh とし、自動選別の消費電力量は 64kWh/t-基板×0.000453tCO2/kWh=0.0290tCO2/t-基板となる。処理量を 30t-基板/月とすると、0.87 tCO2/30t-基板となる。

3) 本事業による CO2 削減効果

以上から、本事業による CO2 削減効果は 8.00t-CO2/30t-基板となる。

6. 金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討及び出口戦略の検討

6.1. 精錬会社のニーズおよびリサイクルの導入意向調査

AI 選別システムのニーズおよび導入意向について、精錬会社ならびにリサイクルを対象に調査を行った。まず、電子基板取扱量の拡大にあたり、銅精錬において銅と同じ挙動をするために銅のコンタミ成分となる恐れがある Sn が懸念事項となっており、精錬工程の前処理として蒸気分離プロセスを評価頂き、精錬会社としてニーズがあることを確認できた。また、電子基板の PGM は含有率が低く、回収歩留りも悪いため、リサイクルへの PGM の資源評価も難しい状況であることや、PGM 以外では、Ta は回収出来ておらず、スラグに移行しているという情報が得られた。蒸気分離並びに AI 選別システムは、未回収金属の循環創出と精錬事業者ひいてはリサイクルにも経済効果をもたらすものであるとの評価が得られた。

次にリサイクルへの導入意向調査について、今回調査したリサイクルのうちいくつかは蒸気分離プロセスを既に導入済みであった。一方で、AI 選別システムまでを取り入れているリサイクルは未だなく、本システムへの関心は非常に高かった。導入を検討しているリサイクルのうち 2 つは補助金での導入を検討していることが分かった。メディアを通じた問い合わせも多く、メディア露出による影響が大きくあらわれている。

表 27 精錬会社およびリサイクラへの導入意向調査結果

		調査状況
精錬会社	A	・電子基板取扱量の拡大にあたり、今後 Sn が懸念事項となっており、精錬工程の前処理として蒸気分離プロセスを評価頂き、精錬会社としてニーズがあることを確認
	B	・電子基板中の PGM は含有率が低く、回収歩留りも悪いため、リサイクラへの PGM の資源評価も難しい状況 ・PGM 以外では、Ta は回収出来ておらず、スラグに移行している ・蒸気分離並びに AI 選別システムは、未回収金属の循環創出と精錬会社ひいてはリサイクラにも経済効果をもたらすものであるとのコメントを頂いた
リサイクラ	A	家電リサイクル業者（愛知県） ・一昨年度に蒸気分離プロセスを導入済 ・AI 選別システムの導入を次年度見据えており、補助金での導入を検討中
	B	大手商社（愛知県、操業は関連会社が担う） ・次年度より、電子基板リサイクル事業を開始するにあたり、蒸気分離プロセスを今年度末導入で進行中 ・次のステップとして、AI 選別システムの引合いも既に来ている
	C	都市鉱山リサイクル業者（神奈川県） ・過去に他社の電子部品分離装置の検討もあったが、蒸気分離プロセスに優位性有りと判断し、昨年度導入済 ・AI 選別システムを次の段階として導入検討中
	D	リサイクル業者（北海道） ・海外製の電子部品分離装置を導入しているが、思うように電子部品分離が出来ていない ・PGM の経済効果が期待できる本システムへの関心は高く、補助金での導入を検討中
	E	大手商社（大阪府） ・新規事業として海外からの基板を輸入し、日本国内への資源確保を検討中 ・海外のターゲットは現在、インド ・メディアを通じて、当社へ問合せがあり、蒸気分離+AI 選別システムの導入に向け、情報交換中
	F	大手リサイクル業者（京都府） ・世界的な SDGs や CE の流れを受け、蒸気分離+AI 選別システムによるリサイクルの枠組み構築を検討中 ・枠組みのアウトラインを明確にし、導入に向けた情報交換を行っていく
	G	環境関連機器エンジニアリング業者（神奈川県） ・各種リサイクル機器で取引があるリサイクル会社を中心に、蒸気分離+AI 選別システムの提案を行っていききたいとの申し出有り
	H	家電リサイクル業者（神奈川県） ・新しい都市鉱山リサイクルシステムとして高評価頂き、設備投資案件としてのノミネートを検討している
精錬会社		電子基板由来のタンタル原料は未着手で、今回のシステムに高い関心を持っている。現在、本システムで回収したタンタルコンデンサのサンプル評価を進めており、精錬会社と連携しながら、タンタルを含む資源回収要件の検討を行う。

6.2. 想定するビジネスモデル

AI 画像認識選別システムを設置するリサイクルの規模に応じて、3 パターンの提供方法を検討した。提供方法を図 79 に示す。図中のリサイクル規模の目安、売買に関するシステム等の概要は以下の通りである。

- ① 大規模リサイクル
電子部品をターゲットに設備投資ができる。処理量が多く精錬会社と直接取引ができる規模をもつ。
- ② 小規模リサイクル
電子部品をターゲットに設備投資ができない。精錬会社と直接取引ができるほど処理規模がない。
- ③ 公共系リサイクル
電子部品をターゲットに設備投資ができない。選別した部品を売買することで収益化を図るのではなく、選別加工委託により収益を上げる。
- ④ 売買代行（ロット集約）
精錬会社と直接売買できる規模にない事業者（小規模リサイクル、公共系リサイクル）の電子部品をロットで集約し、売買を代行する。
- ⑤ 売買システム
リサイクル向けには、精錬会社との売買価格情報の提供や WEB 取引などのシステムを提供し、精錬向けには、エリアにおける電子部品の回収状況、回収制度、販売希望価格などの情報を提供する。

電子部品をターゲットとした設備投資ができる大規模リサイクル向けには販売する。それができない小規模または公共系リサイクル向けには、自社保有しつつレンタルまたは無償で設置し、レンタル料や電子部品の売却代金で回収するモデルを検討している。単独では精錬会社と直接取引ができない規模のリサイクルであれば、売買代行でロット集約後に精錬会社と取引を行う。

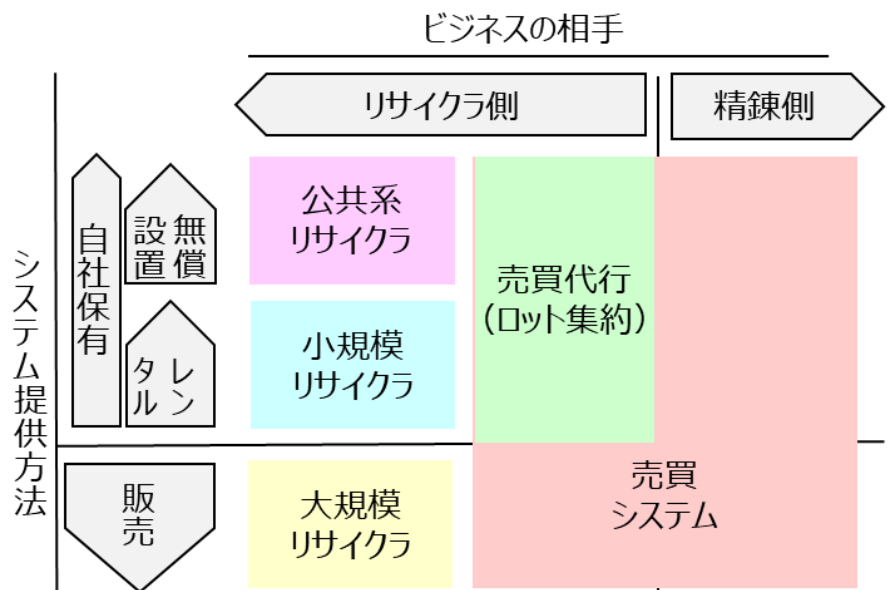


図 79 ビジネスの相手に応じた AI 画像認識選別システムの提供方法

上記 3 パターンのシステム提供方法①販売モデル、②レンタルモデル、③無償設置モデルの料金回収方法の概要は以下の通りである。

- ① 販売モデル
AI 画像認識選別システムを販売し、機器代金を回収する。同システムの運用費用としてシステム利用料を徴収する。最新の学習モデルや選別対象部品の追加などの大幅アップデート時には別途アップデート料を徴収する。

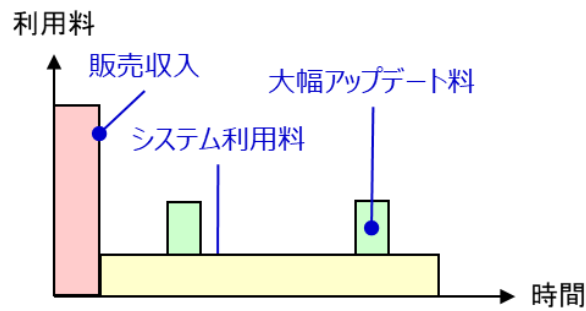


図 80 販売モデル概要

② レンタルモデル

AI 画像認識選別システムを販売せずに、利用期間を定めたレンタルにより機器代金を回収する。同システムで選別された電子部品についてアステック入江を通じて精錬事業者に売却するサービスを付帯し、売買代行手数料を徴収する。

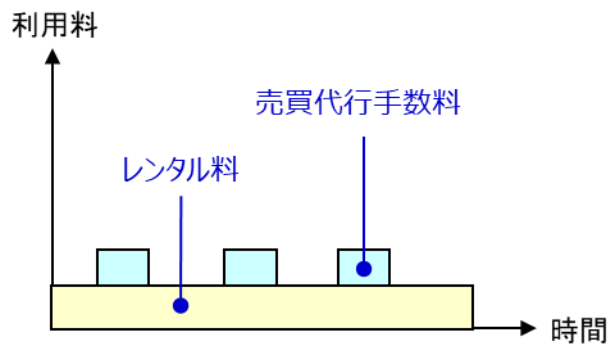


図 81 レンタルモデル概要

③ 無償設置モデル

AI 画像認識選別システムをアステック入江が無償で設置する。同システムで選別された電子部品の所有権をアステック入江が持ち、電子部品の売却代金を回収する。

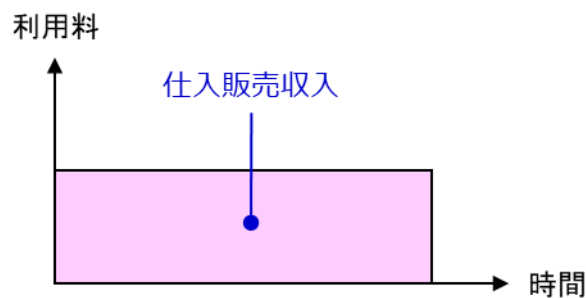


図 82 無償設置モデル概要

6.3. システム導入による経済効果算出

今年度始めの選別実績と当社における取扱基板品種をベースに、蒸気分離と AI 画像認識選別システムをセットで導入した際の経済効果を検討した。

図 83 より、システム導入前の基板販売単価は 670 円/kg、一方でシステム導入後の基板販売単価は 804 円/kg（2022 年 7 月時点）となっており、AI 画像選別による貴金属の濃縮により取引条件が向上し、基板 1kg に含まれる電子部品の販売単価でみると 20%増加している。

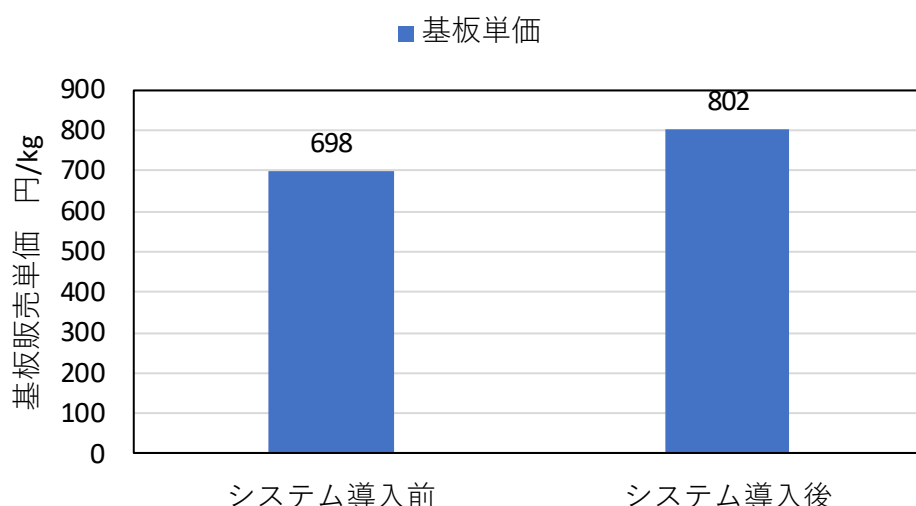


図 83 システム導入前後の販売単価比較

次に、投資回収年数について、リサイクラへのヒアリング調査から、投資回収年が 7 年程度であれば導入を検討するという回答を得ている。システム導入先規模感として想定している、20t/月ベースでみた際、投資回収年としては 5.4 年となる。また、システム導入により取扱量拡大となった際、例えば、30t/月だと投資回収年は 3.4 年となる。

将来的には、①生産拡大のスケールメリットによる 1 台あたりコストダウン、②DX による AI の高度化がもたらす電子基板販売単価を踏まえながら、導入コスト低減を検討していく。

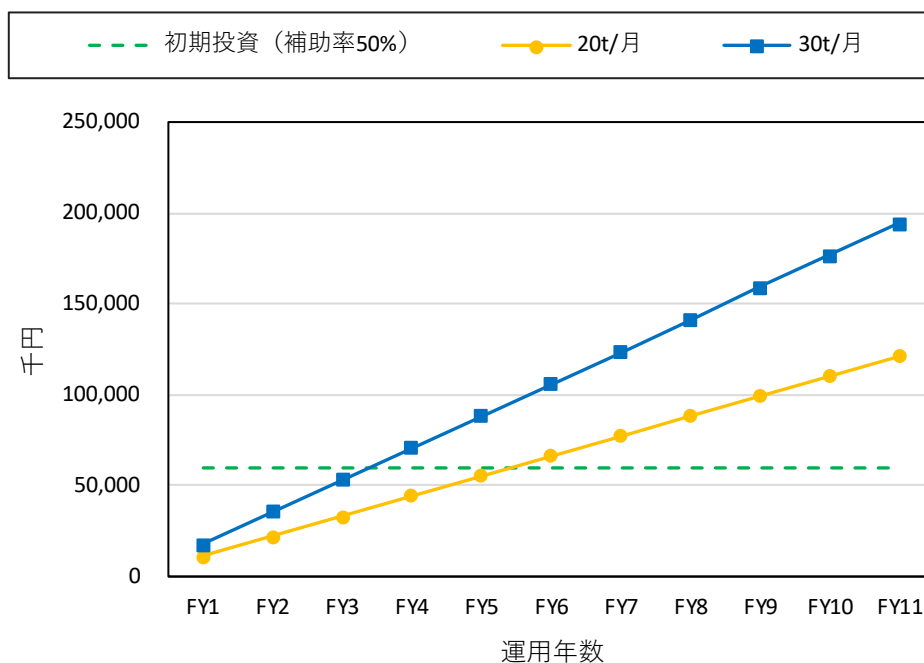


図 84 取扱規模と投資回収年

Ⅲ. おわりに

令和 4 年度業務の目標および成果について、表 28 および以下に示す。

【電子部品】

- ・ 電子基板からの PGM 等回収システムとして、AI 画像認識選別システムを開発し、想定される導入先のニーズを踏まえて、篩と一体化したシステムの実機ベースの試作機を完成させた。
- ・ 試作機の連続運転により、課題を洗い出しながら、実装レベルまで向上
(一部、部品同士の重なりや酷似部品の誤認識の課題は残すが、導入先でも経済効果を享受出来るシステムであり、残課題については、引続き開発検討を進めていく。)
- ・ IT システムを活用しながら、ビジネスモデルの DX 化に向けた、ベースとなる要件整理は完了した。(詳細な運用体制は収益配分や業務区分を明確にし、今後確定させていく。)
- ・ 出口戦略では、ヒアリング調査を進めるにつれ、リサイクラ及び精錬事業者との連携による社会実装が今後期待出来るものであると判明した。(精錬事業者とは次年度以降連携しながら、社会実装に向けた詳細検討を行う。)

【着火プラグ・O2 センサー】

- ・ 整備工場並びにエンジンリサイクル会社からレターパック等を活用しながら、着火プラグを回収するスキームを構築した。
- ・ 着火プラグ中の PGM (Pt、Ir) 含有部位回収については、福祉施設での手解体による連携で事業性があることがわかった。(手解体後に残るプラグは塩化鉄プロセスによる Ni 回収向上を継続して検討を進める。)
- ・ 令和 4 年度より本格的な事業を開始。

表 28 令和4年度業務の目標および成果

①実施項目	②最終目標	③実 施 内 容
【事業全体】	リサイクル業者に加え福祉施設等へのAI画像認識選別システムの導入による「厚生・環境」連携モデルの事業化	- AI画像認識選別システムの連続運転を通じて、商用化に向けた課題整理と対策 - ITシステムを活用したビジネスモデル運用のための要件整理と運用コスト試算 - 本システムにより新たに見込まれる資源循環量を加味したCO2排出量削減効果の評価 - 各リサイクラー及び製錬メーカーへヒアリング調査しながら、ニーズ及び導入意向を調査
1.多種多様な選別対象部品の安定的な選別の検討	- AI画像認識選別システムの動作を安定化し、メンテナンスフリーに近づけたうえでリサイクル企業や福祉施設等に提供 - AI画像認識選別システムの幅広い導入先環境での動作保証	- 試作機の連続運転で出てきた課題(汚れ等)への対策を実施 - ベルト汚れ→定期交換+交換作業容易化に向けた設計で対応 - その他、【部品同士の重なり】は解消されず、【酷似部品の誤認識】による影響が大きいことが判明し、対策検討
2. ITシステムを活用した運用性の向上	AIモデルの継続学習に加え、クラウド連携による監視・メンテナンスの付加価値を創出	クラウド連携による管理項目設定のため、想定されるユースケースを整理。今後は製錬メーカーとも連携しながら、詳細検討を進めていく
3.多種多様な選別対象部品群に応じたAIの効率的学習方法の確立	地域のニーズに応じた部品選別に対応することで、システムの全国展開に対応	
4.事業採算性の評価	電子部品選別システムの販売先と連携した入口・出口情報に基づくDXによる事業高度化に向けた検討	運用コスト試算のための要件を整理し、50拠点以上への導入であれば導入コストは横ばいとなる試算結果となった
5.環境影響改善効果の評価	- 電子部品からの含有部品の回収に伴う資源(Pd、Ta)循環量の増大効果の評価。 - 自動車部品からの含有部品の回収に伴う資源(Ir、Pt)循環量の増大効果の評価	本システムで新たに見込まれるPGM等の資源循環量をベースとして、CO2排出量削減効果の見直しを実施し、8.00 t-CO2/30t-基盤 となった
6. CO2排出量削減効果の評価	- 電子部品の効率的な選別・回収に伴うCO2排出量削減効果の評価。 (提案時点)471.67kg-CO2/kg-貴金属 - 自動車部品の整備工場等からの回収等に伴うCO2排出量削減効果の評価。 (提案時点)10.247kg-CO2/回収100本	
7.金属リサイクルビジネス活性化に向けた検討	電子部品の「低位品基盤に多く含まれる電子部品への横展開」及び「AI画像認識選別システムの福祉施設等への横展開」	- 各リサイクラー、製錬メーカーにヒアリング調査を実施し、本システムのニーズがあることを確認 - 製錬メーカー1社とはタンタルコンデンサのサンプル評価での連携について、前向きな話を頂いており、今後、製錬メーカーとの連携を推進していく - 最終目標として、福祉施設等へのシステム導入を掲げていたが、実証事業を通じて、リサイクラー及び製錬メーカーへのシステムの社会実装確度が高いことが分かり、そちらでの連携モデルを当面は目指していく
8.出口戦略の検討	- IoT機器の普及や自動車の自動運転化・安全性能向上に伴い、使用用途の増加が見込まれるセンサー等他製品への横展開 - 小型家電等から基板回収を行っている福祉施設等へのAI画像認識選別システムの導入を検討し、「厚生・環境」連携のモデル事業化 - AI画像認識選別システムのアジア域への展開によるPGM原料としての国内輸入 - 市中からの調達安定性の向上、金銀銅に加えてPGMとしての市場創出、電子部品等のリサイクル原料比率の向上、低炭素製品の普及への寄与 - 我が国循環産業の国際展開の実現	

（参考）令和4年度特許権、学会発表等の状況

①特許権

番号	種類*	出願日／登録日	出願番号／特許番号	発明の名称	出願人／特許権者	国際特許状況	備考**
1							

②商標権、意匠権、実用新案権等

番号	種類*	主な内容を記載**	備考***
1			

③論文（投稿・口頭発表）

番号	学会・誌名	タイトル	著者・所属	発表（掲載）日、巻号
1				

④その他（展示会出展、メディア掲載、受賞等）

番号	種類*	内容**
1	メディア掲載	九州朝日放送「シリタカ！」（2021年10月14日放送）。2021世界体操・新体操選手権北九州大会での大会メダル製作に携わった企業を紹介するコーナーにて、AI画像認識選別システムを含む、当社の電子基板リサイクル技術が紹介された。
2	受賞	2021年12月17日に北九州市より、独創的な製品や技術、サービスを提供する優れた中小企業として、第6回北九州オンリーワン企業として認定。認定企業の紹介動画のなかで、AI画像認識選別システムを公開。
3	メディア掲載	山口放送「KRY ニュースライブ」（2022年1月20日放送）。2017年より下関市で開催されるマラソン大会（下関海響マラソン）での入賞メダルは当社リサイクル技術を用いて製作されているが、今回この取組について紹介され、AI画像認識選別システムも当社リサイクル技術の一部として紹介される。
4	メディア掲載	2022/7/19付け日本経済新聞（記事名”都市鉱山のレアメタル、AIで効率回収 部品を分離・選別”）の中で、蒸気分離（電子基板から電子部品を分離）とAI画像認識選別システムの外販に関する記事
5	メディア掲載	MBS 毎日放送「よんちゃんTV」（2022年10月18日放送）。TV局独自で取材していた、電子廃棄物の不正輸出に関する現状を特集するコーナーの中で、電子基板のリサイクル方法として、当社のリサイクルシステムが紹介される
6	メディア掲載	2022/12/9付けの「ウィークリーけいざい」で、九州に拠点を置く企業にフォーカスし、設備投資や先端技術の活用で都市鉱山からの再資源化に取り組む企業の一つとして紹介される

(参考文献)

- [1] 経済産業省「エネルギー使用合理化技術開発 希少金属等高効率回収システムの開発事業 平成 19 年度 成果報告書」、2008 年。
- [2] NGK「ジルコニア酸素センサ」、
https://www.ngkntk.co.jp/product/sensors_plugs/zirconia_oxygen.html
- [3] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、「LCI データベース IDEA version 2.3」
- [4] 国立研究開発法人 産業技術総合研究所、「LCI データベース IDEA version 3.1」
- [5] 田中貴金属工業株式会社「貴金属買取情報」、
<https://gold.tanaka.co.jp/commodity/souba/index.php>