

**令和3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**

**報告書**

**令和 4 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、O<sub>2</sub> 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・O<sub>2</sub> 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。カメラ撮影画像による部品検出・認識のアルゴリズム検証を行い、3 つの粒度帯別の対象部品画像を AI に学習させた。各電子部品を取り混ぜた状態で実機に流し検証を行い、3 つの粒度帯のいずれの電子部品についても選別率は 90%前後を達成し、売却要件を満たす高い割合で選別できた。

着火プラグ・O<sub>2</sub> センサーでは、全国 6 整備工場にヒアリングを行い、市場規模、保管・分別・輸送方法・輸送コストを把握した。この結果、着火プラグと O<sub>2</sub> センサーの年間発生量はそれぞれ約 280 万個、9 万個と推定した。回収した着火プラグから PGM の含有部位を分離する方法は、プラチナを含む外側電極を金属バサミで切断でき、その後、イリジウムを含む中心電極は金属やすりで粉上に削れることを確認し、それぞれに要する時間は 10 秒/本、50 秒/本であり、1 時間あたり約 60 本の処理ができることを確認した。一方の O<sub>2</sub> センサーは、小型旋盤に固定するための

治具を開発し、切断実験を実施し、加工に慣れれば 15 秒/本切断でき、1 時間あたり約 240 本の処理ができることを確認した。

回収可能性については、整備工場で分別保管することは簡単にできることを確認した。全国 22 社の協力のもと実施したレターバックライトによる回収のパイロット実証により、中央値で着火プラグと O2 センサー取り交ぜて 12.9 円で回収できることを確認した。エンジンリサイクル工場及びリビルトエンジン工場では、手解体の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。エンジンリサイクル工場から購入した着火プラグを福祉作業所で分離するスキームを構築、実証し、次年度以降の継続取引が決定している。

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、動作を確認した。リサイクルの事業規模別に AI 画像認識選別システムの販売・リースモデルを提示した。

事業性については、電子部品は、選別したチップ抵抗、セラミックコンデンサ、タンタルコンデンサを精錬業者に売却できることを確認し、AI 画像認識選別システムの導入により、売上高を現状よりも 13%向上できることを確認した。着火プラグ・O2 センサーは、高性能着火プラグの外側電極 2.4g、中心電極 0.2g を使って簡易 XRF 分析を実施したところ、外側電極のターゲットであるプラチナは 4.63%、中心電極のターゲットであるイリジウムは 20.2~33.4%と高い含有率であることを確認でき、着火プラグ 1 本あたり 20~24 円程度で売却できる可能性を確認した。また、PGM 含有部位分離後の着火プラグから、塩化鉄プロセスにより、鉄、ニッケル、銅が回収できることを確認しており、採算性の向上が見込めている。

今後は、商用化に向けた運用面の仕様具体化と改善を行う。テスト工場における動作で、AI 画像認識選別システムは連続稼働すると篩選別部やコンベアの部品詰まりや、工場内の粉塵等によるカメラ汚れが発生する課題を把握した。これらの課題に対し、機械的改善や、設置場所の要件を定める。また、クラウド環境に詰まりなどの異常を検知し、リモートで対応できる運用体制を構築することで、さらなる運用性の向上を図る。

## 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 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 has a mechanical mechanism that allows electronic components to flow in rows on a conveyor by combining general-purpose products. The system recognizes the images of electronic components flowing on the conveyor and sorts the targeted electronic components by air blow. We verified the algorithm for parts detection and recognition using camera-photographed images and trained the AI with images of target parts in each of the three granularity bands. The system was tested on an actual machine with a mixture of electronic parts and achieved a sorting rate of around 90% for all

electronic parts in the 3 particle size bands, which is a high rate that meets the requirements for sales.

For ignition plugs and O2 sensors, interviews were conducted with six maintenance shops across Japan to understand the market scale, storage, sorting, transportation methods, and transportation costs. As a result, the annual volume of ignition plugs and O2 sensors was estimated to be approximately 2.8 million and 90,000, respectively. As for the method of separating the PGM-containing parts from the collected ignition plugs, it was confirmed that the outer electrode containing platinum could be cut with metal scissors, and the central electrode containing iridium could be scraped into powder with a metal file. The O2 sensor, on the other hand, is small and compact. For the O2 sensor, on the other hand, we developed a jig to fix it on a small lathe, conducted cutting experiments, and confirmed that it can be cut in 15 seconds per piece if we are already familiar with the whole process.

As for the possibility of recovery, we confirmed that it is easy to separate and store them at maintenance shops. Through a pilot demonstration of collection by Letter Pack Light conducted with the cooperation of 22 companies nationwide, it was confirmed that a median price of 12.9 Japanese Yen could be collected for a mixture of ignition plugs and O2 sensors. It was confirmed that the ignition plugs were removed in the manual disassembly process at the engine recycling plant and the rebuilt engine plant and that the removal cost was not required. A scheme for separating ignition plugs purchased from the engine recycling plant at the welfare field office was established and demonstrated, and a decision was made to continue the transaction from the next fiscal year.

In the study of the digital transformation (DX) of the business model, the data obtained during sorting by the image recognition sorting system at the nationwide recycler was consolidated into a cloud environment, and an advanced AI model was designed to make the AI learn the images. The sales and leasing model of the AI image recognition and sorting system was presented for each business scale of a recycler.

As for the business potential, for electronic components, we confirmed that the sorted chip resistors, ceramic capacitors, and tantalum capacitors could be sold to refiners and that the introduction of the AI image recognition sorting system could improve sales by 13% over the current level. For the ignition plug O2 sensor, a simple XRF analysis was conducted using 2.4 gr of the outer electrode and 0.2 gr of the central electrode of the high-performance ignition plug, and it was confirmed that the content of platinum, the target of the outer electrode, was 4.63%, and the content of iridium, the target of the central electrode, was high, ranging from 20.2% to 33.4%. We confirmed the possibility of selling each ignition plug for 20-24 yen per plug. In addition, it was confirmed that iron, nickel, and copper can be recovered from the ignition plugs after the separation of the PGM-containing parts by the iron chloride process, and profitability can be expected to improve.

In the future, we will work on the specifics and improvements of the operational aspects for commercialization. In the operation of the test factory, we found that the AI image recognition sorting system had problems with parts clogging in the sifting section and conveyor, and camera contamination due to dust in the factory upon continuous operation. To address these issues, mechanical improvements and installation location requirements will be defined. In addition, we will further improve the operability of the system by building an operating system that can detect abnormalities, such as clogging in the cloud environment and respond remotely.

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. 電子基板・自動車部品から PGM 等の貴金属リサイクルの仕組み構築に向けた検討 ..... | 3  |
| 1.1. 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  |
| 1.1.1. 技術概要・実証概要.....                            | 3  |
| 1.1.2. 機械構造の改良によるシステム安定化の検討 .....                | 12 |
| 1.1.3. AI 構造の高度化による認識率向上の検討 .....                | 17 |
| 1.1.4. 事業化に向けた課題・対応策 .....                       | 22 |
| 1.2. 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 .....         | 24 |
| 1.2.1. 前提条件.....                                 | 24 |
| 1.2.2. 整備工場からの回収モデルのパイロット実証 .....                | 32 |
| 1.2.3. エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討 .....              | 35 |
| 1.2.4. 回収モデルの構築 .....                            | 36 |
| 1.2.5. 事業化に向けた課題・対応策 .....                       | 38 |
| 1.3. ビジネスモデルの DX に関する検討 .....                    | 39 |
| 1.3.1. 前提条件.....                                 | 39 |
| 1.3.2. リサイクルのネットワークインフラ調査.....                   | 43 |
| 1.3.3. 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 .....  | 43 |
| 1.3.4. 事業化に向けた課題・対応策 .....                       | 45 |
| 1.4. 事業性の評価.....                                 | 47 |
| 1.4.1. 選別部品の利用用途拡大の検討 .....                      | 47 |
| 1.4.2. PGM 含有率のばらつきの検討.....                      | 48 |
| 1.4.3. 事業採算性の評価 .....                            | 49 |
| 2. 環境影響評価.....                                   | 53 |
| 2.1. インベントリ・バウンダリの考え方 .....                      | 53 |
| 2.1.1. 着火プラグ・O2 センサーのインベントリ・バウンダリ（図 63 参照） ..... | 53 |
| 2.1.2. 電子基板のインベントリ・バウンダリ（図 64 参照） .....          | 54 |
| 2.2. CO2 削減効果の試算.....                            | 55 |
| 2.2.1. 着火プラグ・O2 センサー（図 65 参照） .....              | 55 |
| 2.2.2. 電子基板.....                                 | 58 |
| 3. 事業化可能性の検討.....                                | 60 |
| 3.1. 既存技術との比較 .....                              | 60 |
| 3.1.1. 着火プラグ・O2 センサー .....                       | 60 |

|        |                                   |    |
|--------|-----------------------------------|----|
| 3.1.2. | 電子部品 .....                        | 60 |
| 3.2.   | 採算性の評価 .....                      | 60 |
| 3.2.1. | 着火プラグ・O2 センサー .....               | 60 |
| 3.2.2. | 電子部品 .....                        | 61 |
| 3.3.   | 事業化に向けた課題 .....                   | 63 |
| 3.3.1. | 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 ..... | 63 |
| 3.3.2. | ビジネスモデルの DX に関する検討 .....          | 63 |
| 3.3.3. | 事業性の評価 .....                      | 64 |
| 3.4.   | 今後の普及見通し .....                    | 65 |
| 3.4.1. | 本事業技術の将来展開イメージ .....              | 65 |
| 3.4.2. | 普及見通し .....                       | 66 |
| III.   | おわりに .....                        | 68 |



## **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、O<sub>2</sub> 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の選別率の向上**

- ① 機械構造の改良によるシステム安定化の検討
- ② AI構造の高度化による認識率向上の検討

### **(2) O<sub>2</sub>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**

- ① 整備工場からの回収モデルのパイロット実証
- ② エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討
- ③ 回収モデルの構築

### **(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**

### **(4) 事業性の評価**

- ① 選別部品の利用用途拡大の検討
- ② PGM含有率のばらつきの検討
- ③ 事業採算性の評価

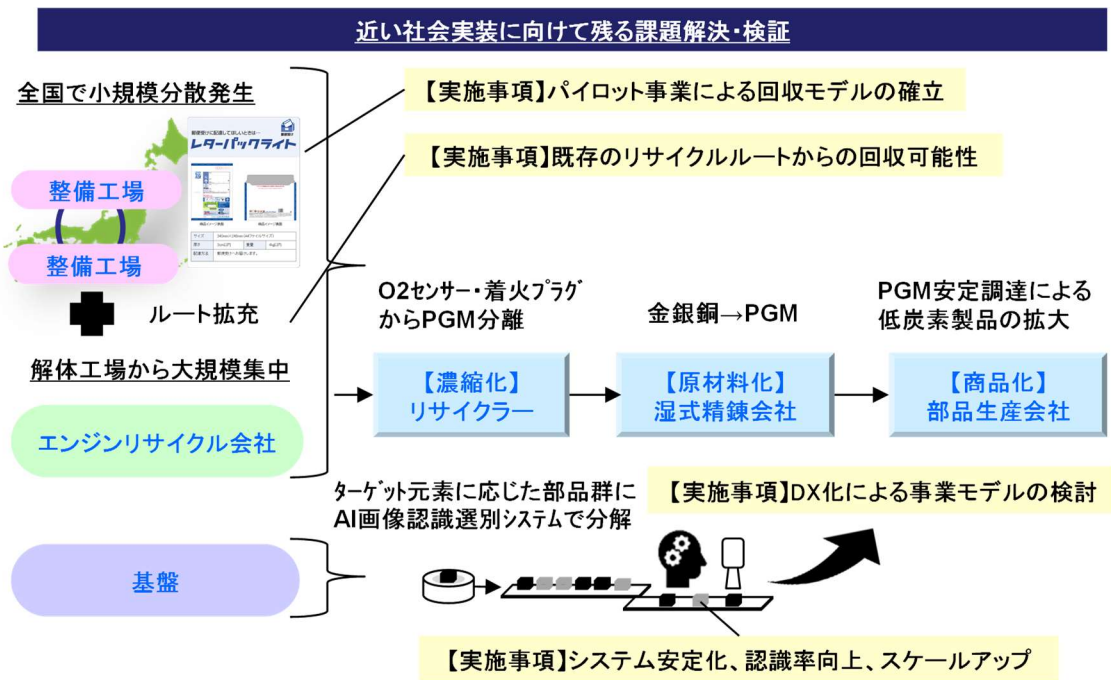


図 1 本事業の実施項目

## II. 事業実施内容

### 1. 電子基板・自動車部品から PGM 等の貴金属リサイクルの仕組み構築に向けた検討

#### 1.1. 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

##### 1.1.1. 技術概要・実証概要

###### 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仕方を色々と試みてはいるが、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。

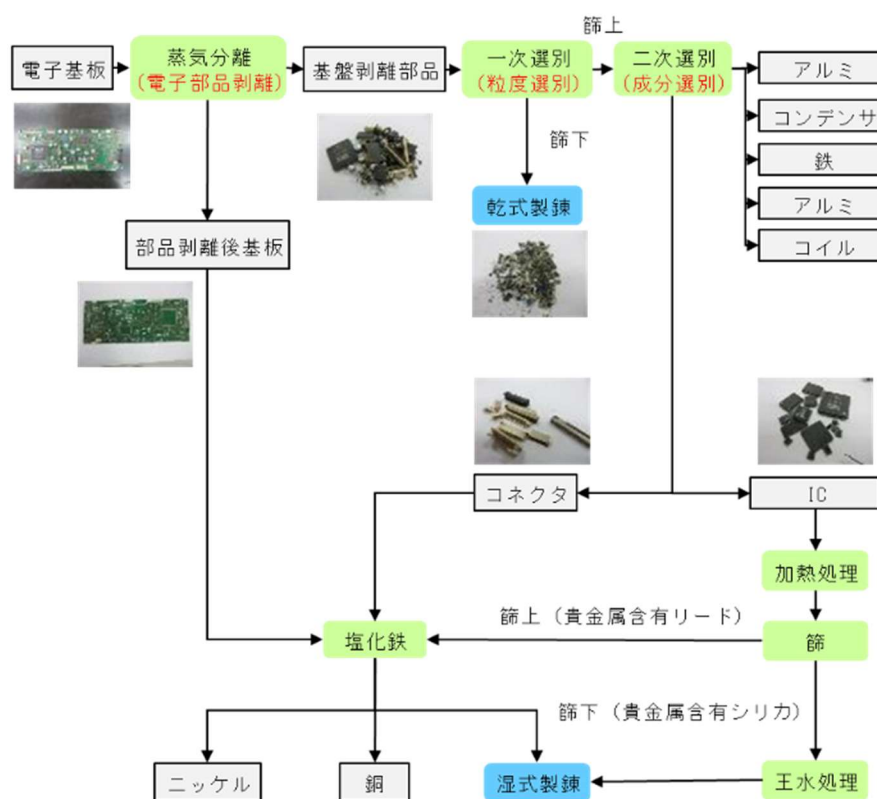


図 2 アステック入江の電子基板リサイクルフロー

### (1) 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。

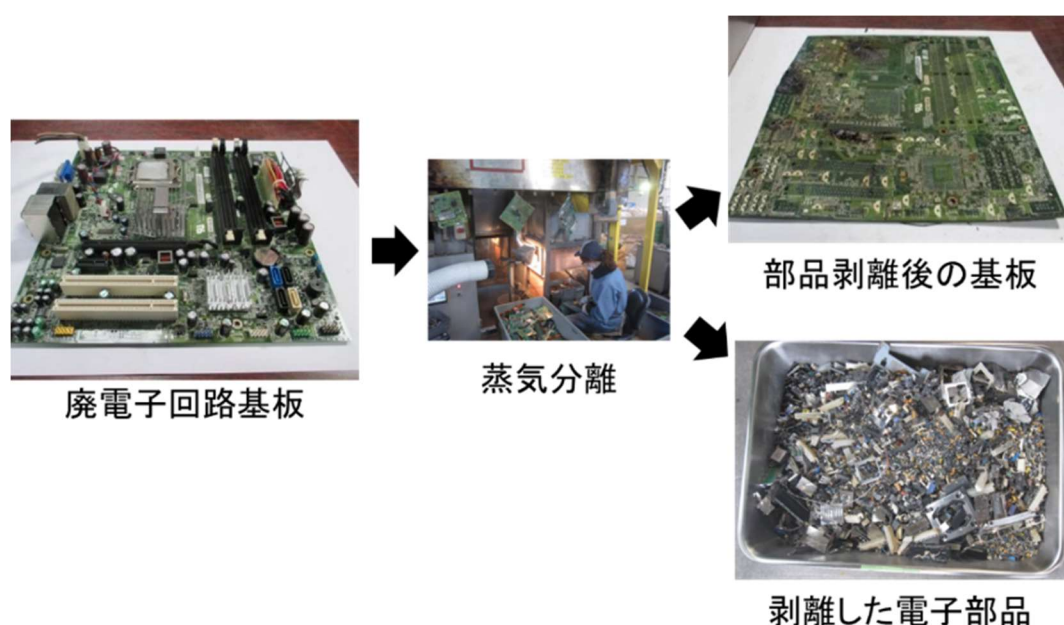


図 3 蒸気分離技術による電子部品の分離



図 4 蒸気分離後の電子部品

## (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。

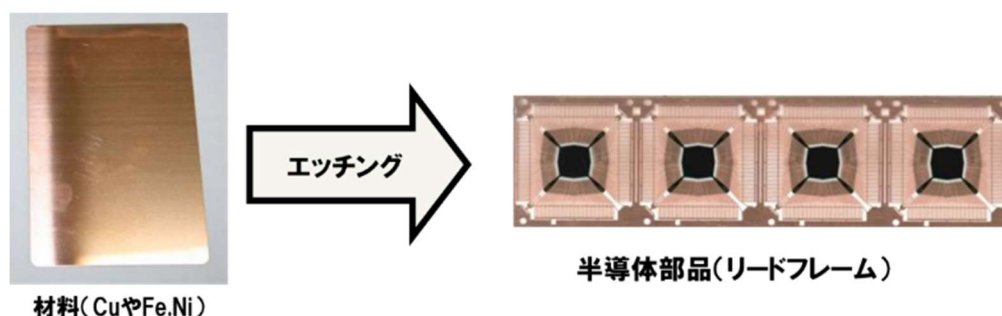


図5 半導体部品製造におけるエッチング加工における塩化鉄溶液の使用

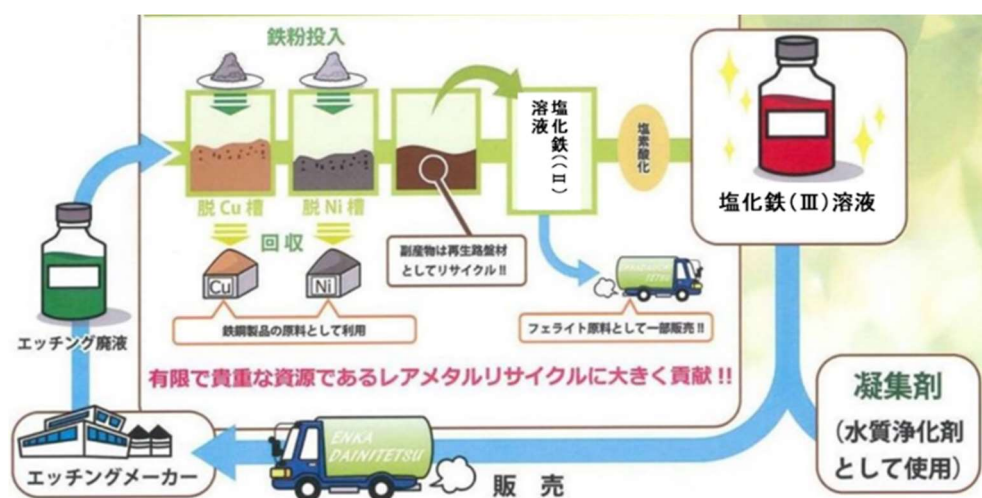


図6 エッチング廃液のリサイクルフローの概要



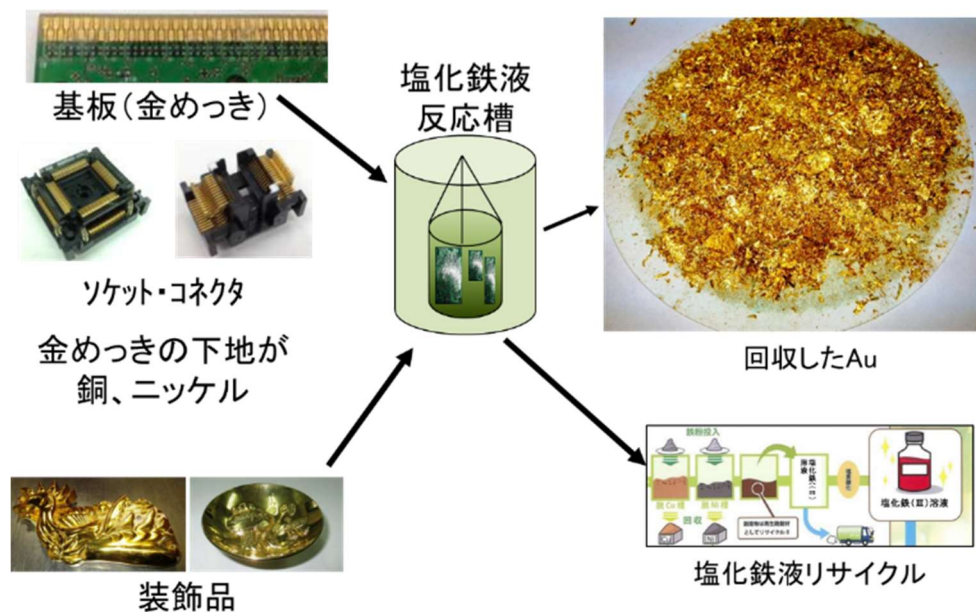


図 7 塩化鉄（Ⅲ）を使用した貴金属の回収

### (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、一般的な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、一般的な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。

一般的なリサイクルでは、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                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                   |    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・発塵による飛散ロスがある。</li> <li>・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。</li> <li>・ルテニウムの実例は確認されない。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・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。</li> <li>・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。</li> <li>・リユース部品としての可能性が見込める。</li> </ul>                                          |

## 2) 昨年度までの成果概要

### (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、2～8mm 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 2～8mm のターゲットした電子部品及び-2mm 電子部品の分析結果**

| 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、2～8mm 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。

## (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) 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

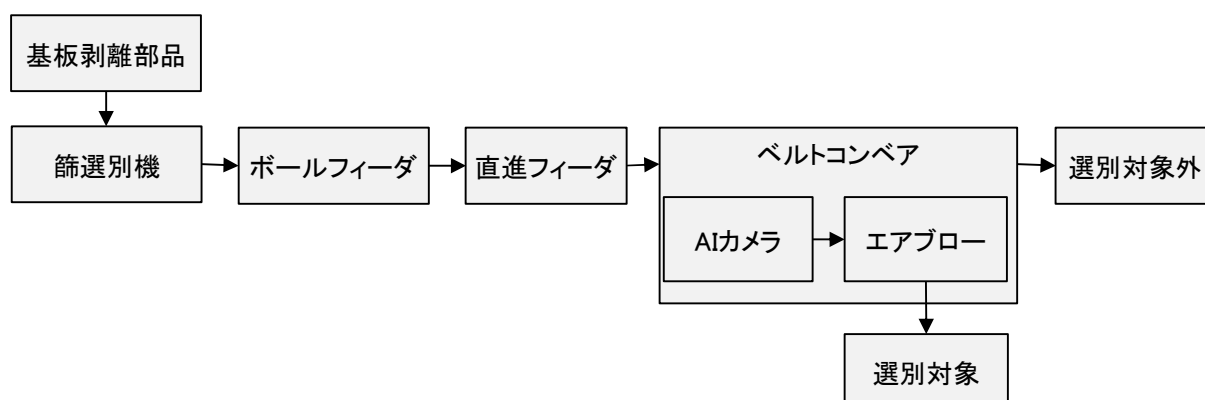


図 9 選別機による部品選別フロー

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）した後に、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。

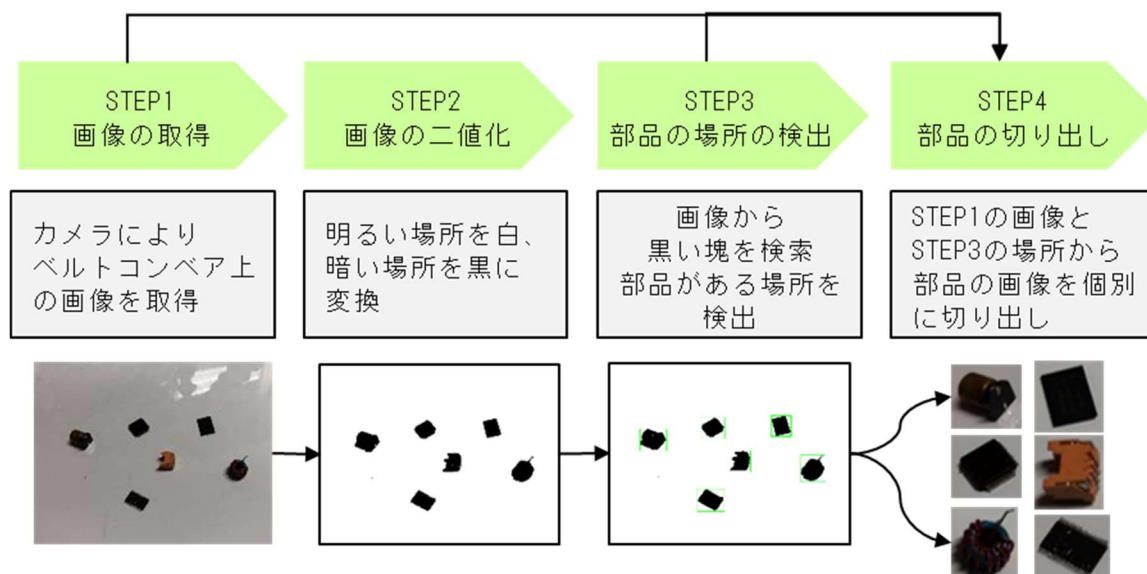


図 10 部品検出のアルゴリズム

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。

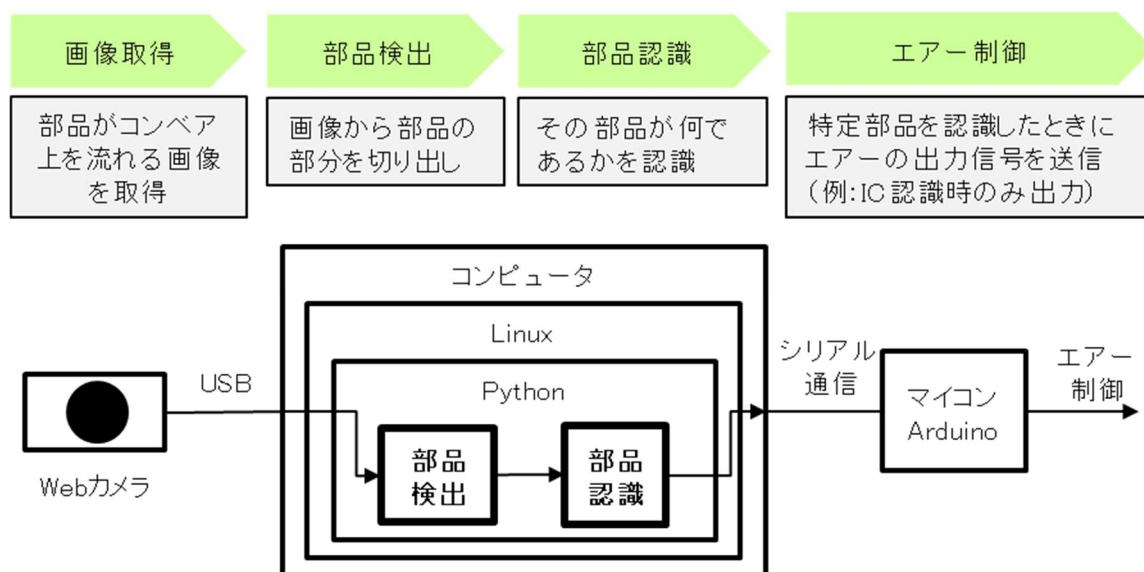


図 11 AIによる部品認識とエアブローによる部品選別

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。

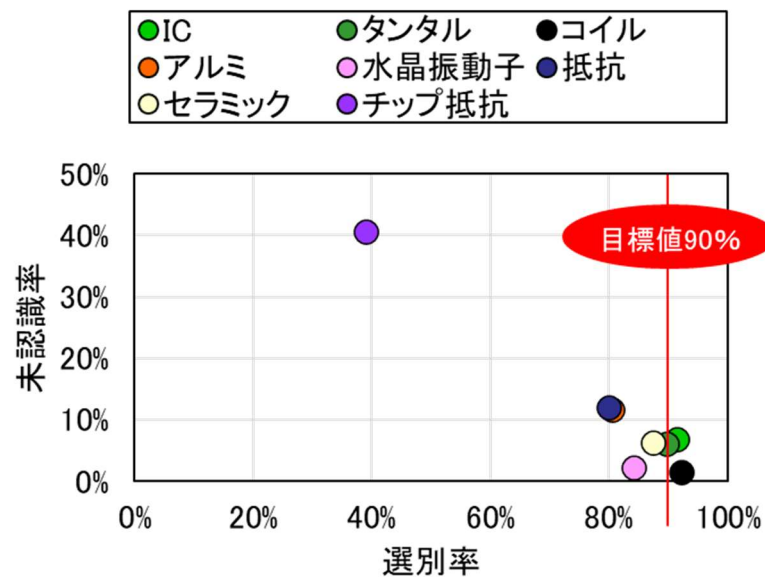


図 12 選別率テスト結果

事業化に向けた課題・対応は以下のとおりである。

① 8mm よりも大きな電子部品への対応

PGM を含有する 2mm～8mm 粒度帯の電子部品を対象とした AI 画像認識選別システムを試作し、商用化を踏まえた処理スピードと選別率を達成した。一方、8mm よりも大きな電子部品については未対応である。同部品は現在も手選別を受託しており、選別の事業ニーズがあるため、対応できるように同システムの改良を行う。

② PGM 等含有電子部品以外への対応

AI 画像認識選別システムの対象とした PGM 等含有電子部品以外の部品にも、精錬会社の処理方式や地域性などの取引ニーズを持つものがあると想定される。これを踏まえた部品グループに対応するため、商用ベースでの画像認識率を向上させる。

### 3) 実証概要

前述の通り、昨年度は 2mm～8mm 粒度帯の PGM をターゲットとした対象電子部品を選定し、AI 画像認識選別システムの試作機を作成した。高い選別率と処理スピードを実現できたが、課題も明らかになった。本年度は、商用化を見据えた処理スピードの向上および選別率の向上に向け、以下の実証を行った。

#### (1) 機械構造の改良によるシステム安定化の検討

商用化に向けて、既に開発済みの AI 画像認識選別システムの対象部品サイズである 8mm よりも大きな電子部品の選別に対応したシステムを構築すること。



## (2) AI 構造の高度化による認識率向上の検討

精錬会社の処理方式や地域性などの取引ニーズを踏まえた部品グループを対象にした AI による画像認識率を向上すること。

### 1.1.2. 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

昨年度は、2mm～8mm 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。今年度実証では、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。

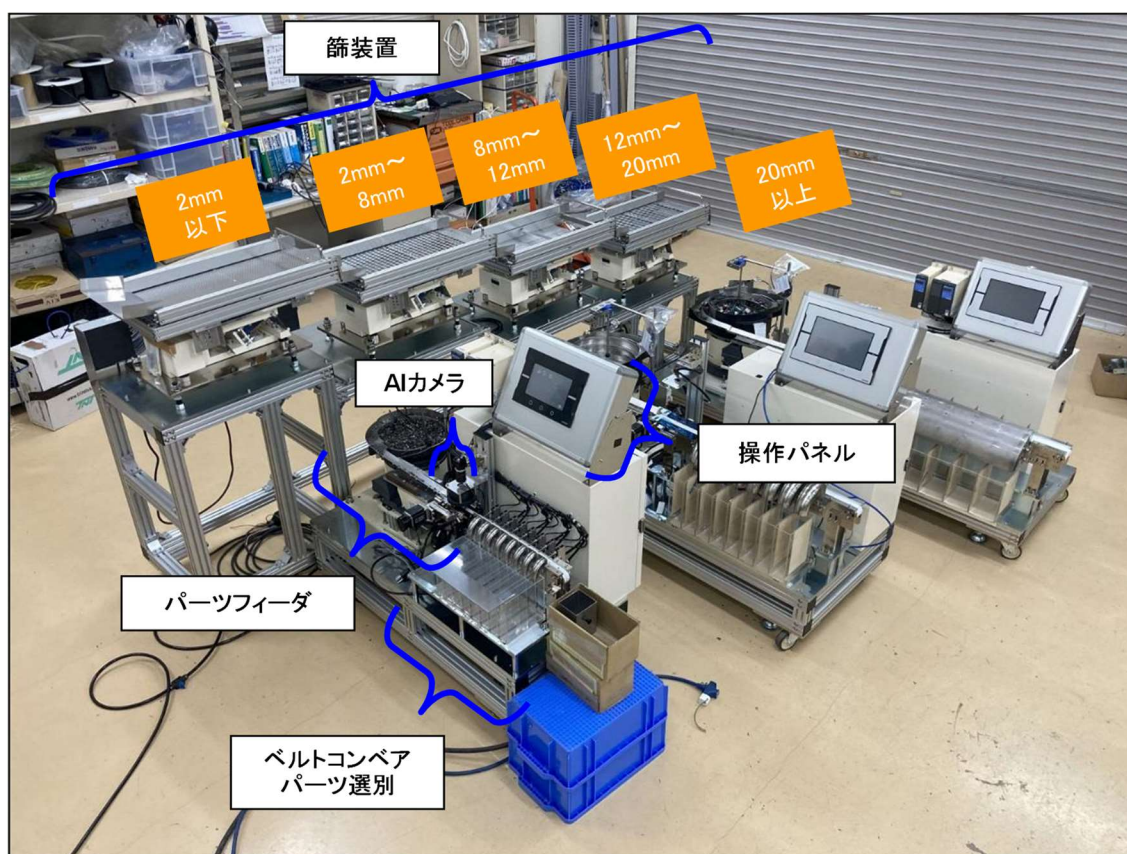


図 13 篩装置一体型の AI 画像認識選別システム

## 2) 篩装置の開発

昨年度は 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、今年度は 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るため、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) ボールフィーダの改良点

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。昨年度実証までで、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。

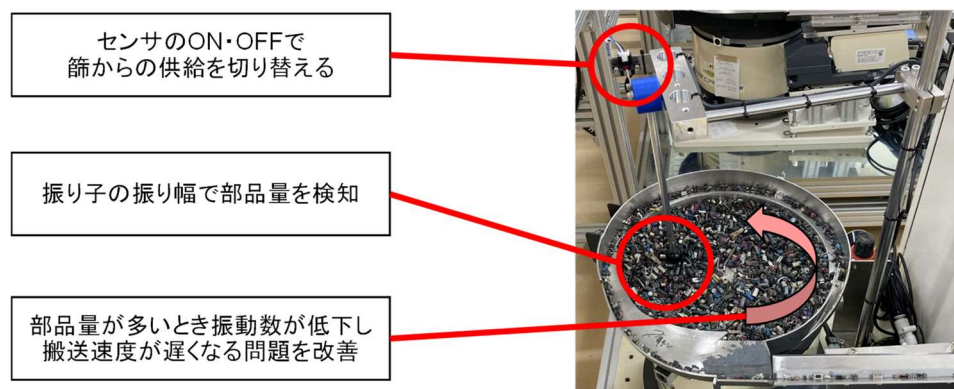


図 16 ボールフィーダの改良点

#### 4) 直進フィーダの改良点

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。

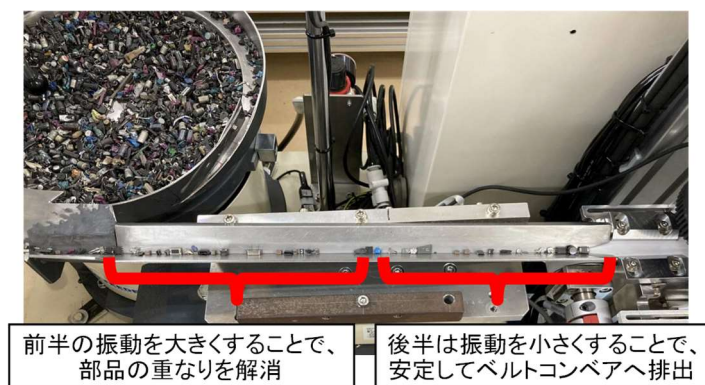


図 17 直進フィーダの振動数差

#### 5) コンベアの改良点

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。

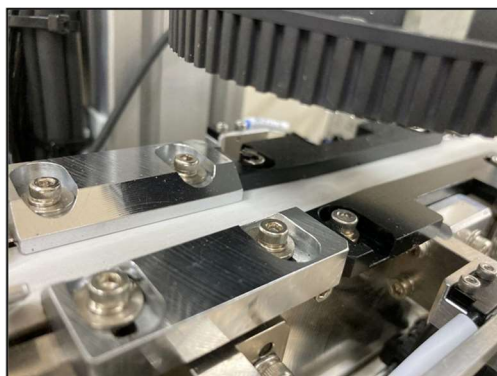


図 18 コンベアのガイド

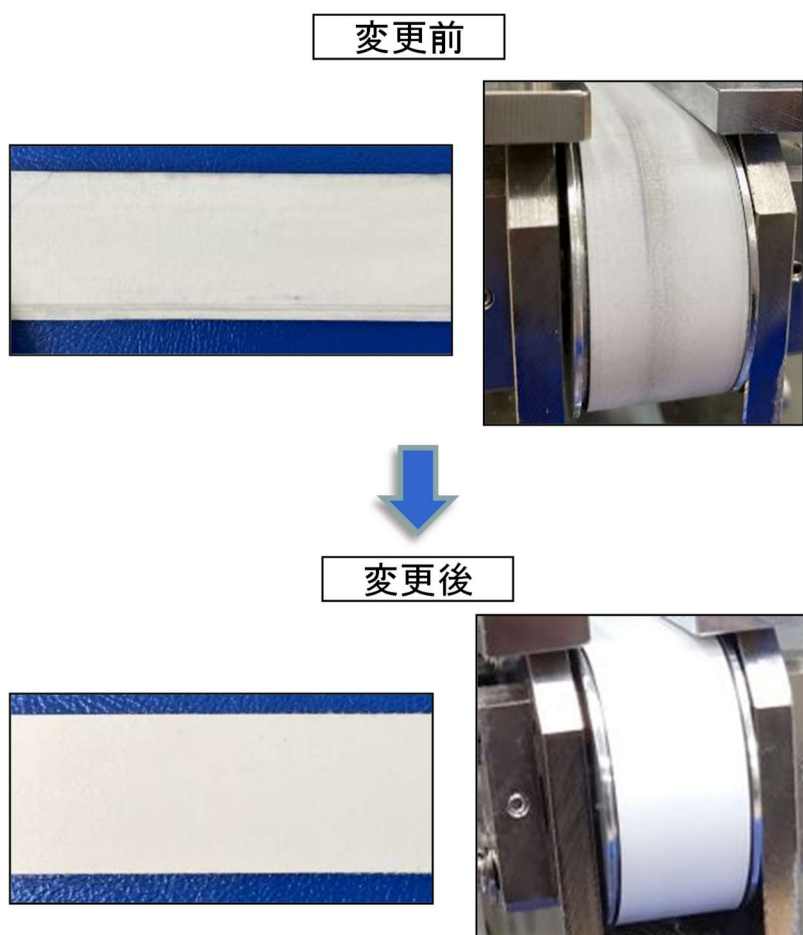


図 19 コンベアのベルト変更

## 6) AI 検査方式の変更

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、排出エアーのズレをなくすることができる。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る。

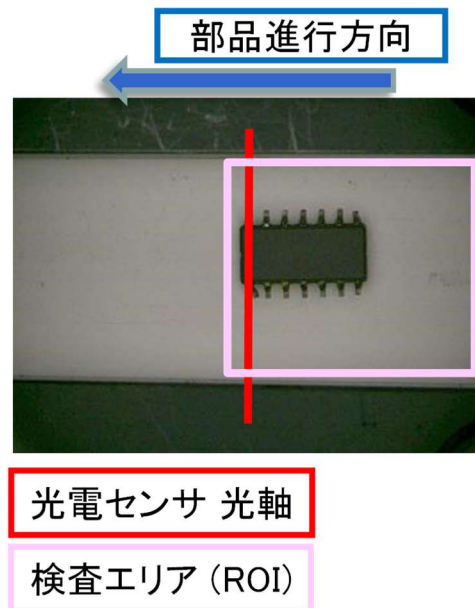


図 20 光電センサを使用した撮影方法

## 7) エアブロー応答速度の向上

コンベアのスピードを、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 500m/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 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。

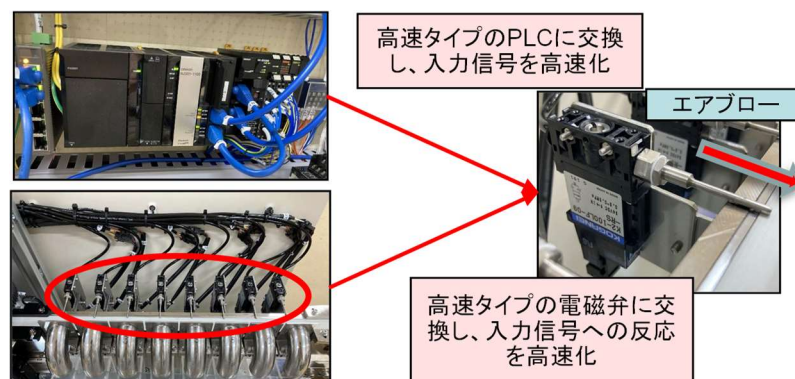


図 21 エアブロー応答の高速化



## 8) エアブロー時の電子部品の跳ね返り防止

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たとしても、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うことがあった。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

### 1.1.3. AI 構造の高度化による認識率向上の検討

昨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。今年度は、昨年度実証で対象としていた 2mm～8mm 角粒度帯の小型電子部品に加え、8mm～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。

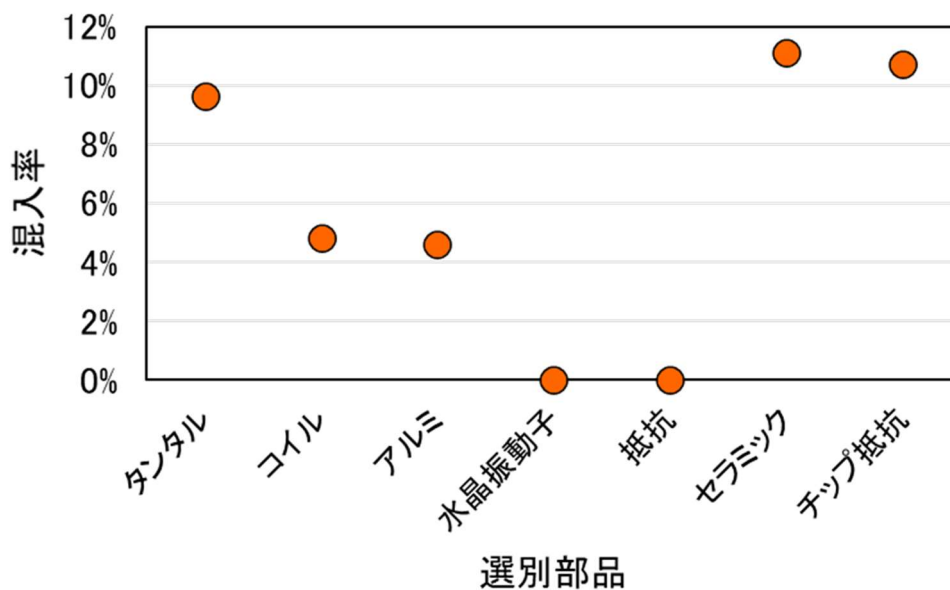


図 23 昨年度の混入率

### 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、昨年度まで 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<br>G-GEAR neo GX7J-C211/ZT                          |
| プロセッサ    | Intel Core i7-11700K<br>(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→<br>opencv | 二値化  | モルフォ<br>ロジー | 輪郭抽出 | 最大輪郭<br>の抽出 | 認識の<br>前処理 | 認識   | 総合計<br>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<br>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<br>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

2mm～8mm 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、昨年度までも AI に学習をさせていたが、継続して学習を行った。今年度は、各種部品を取り混ぜた状態で、1.1.2 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。

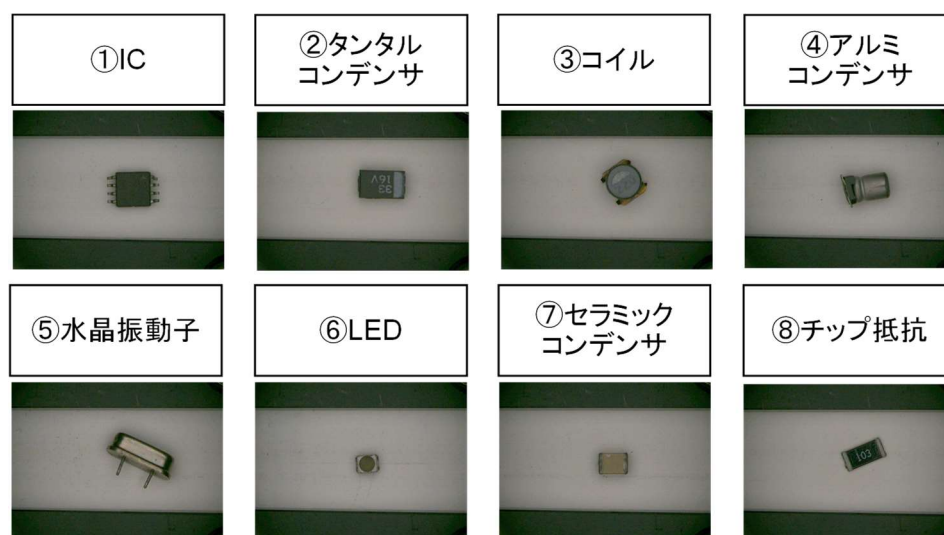


図 24 小型ラインの選別対象部品

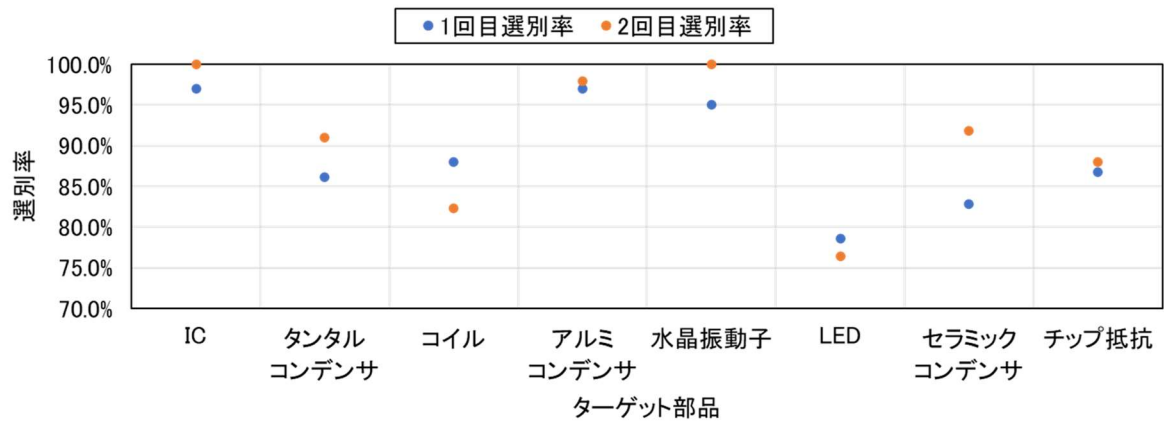


図 25 小型ラインの選別率

### 3) 中型ラインの選別対象部品と選別率

8mm～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。

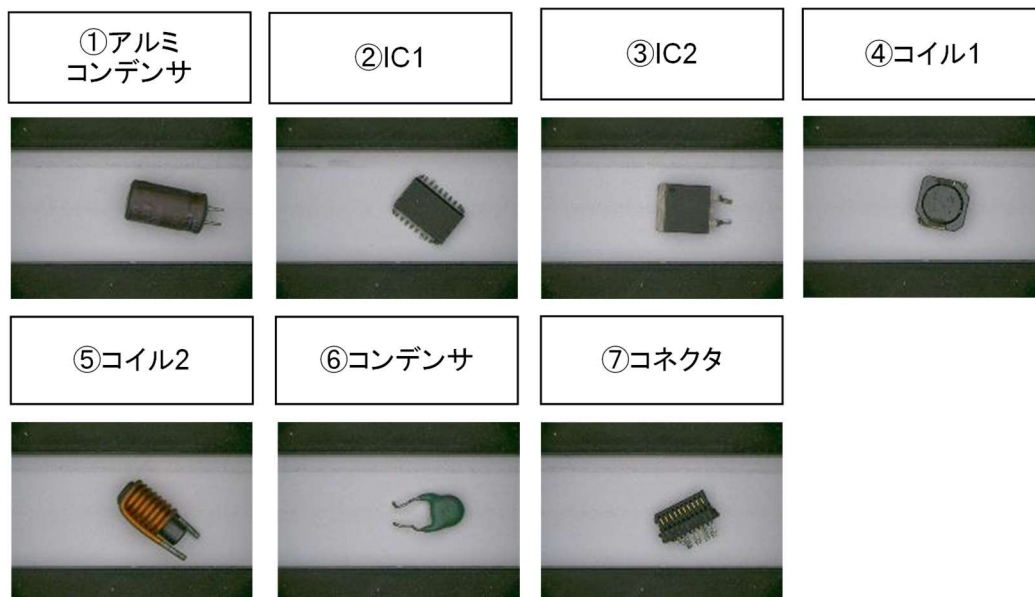


図 26 中型ラインの選別対象部品

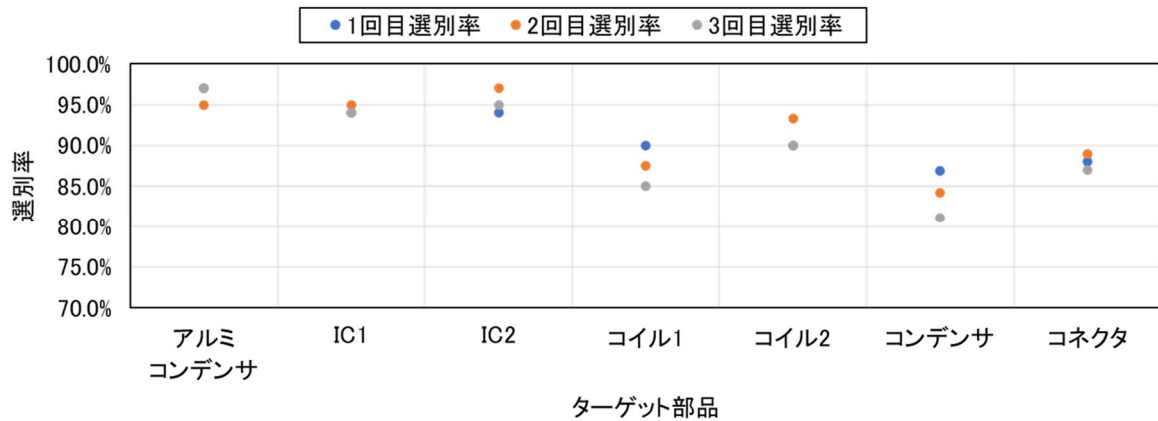


図 27 中型ラインの選別率

#### 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 への学習は今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。

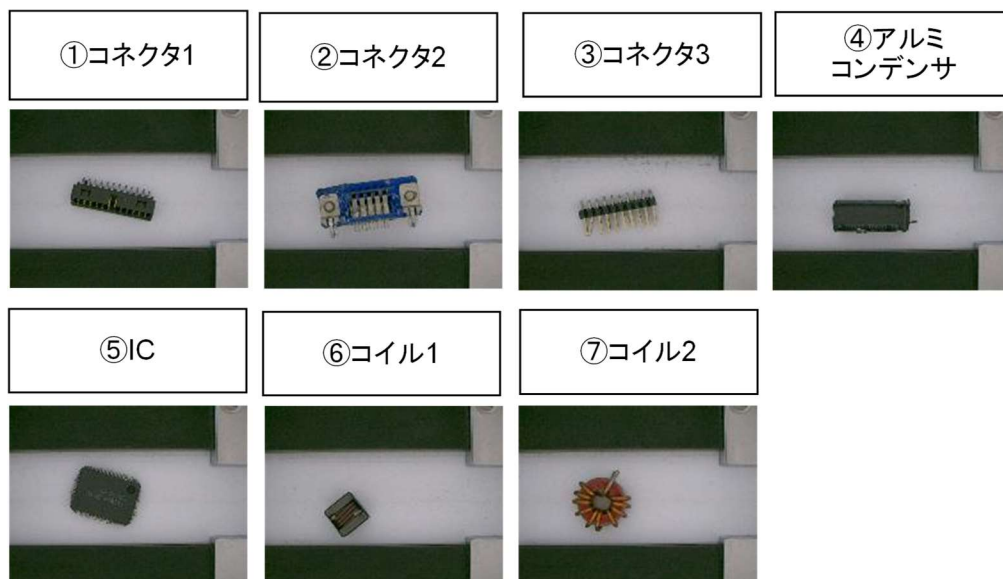


図 28 大型ラインの選別対象部品

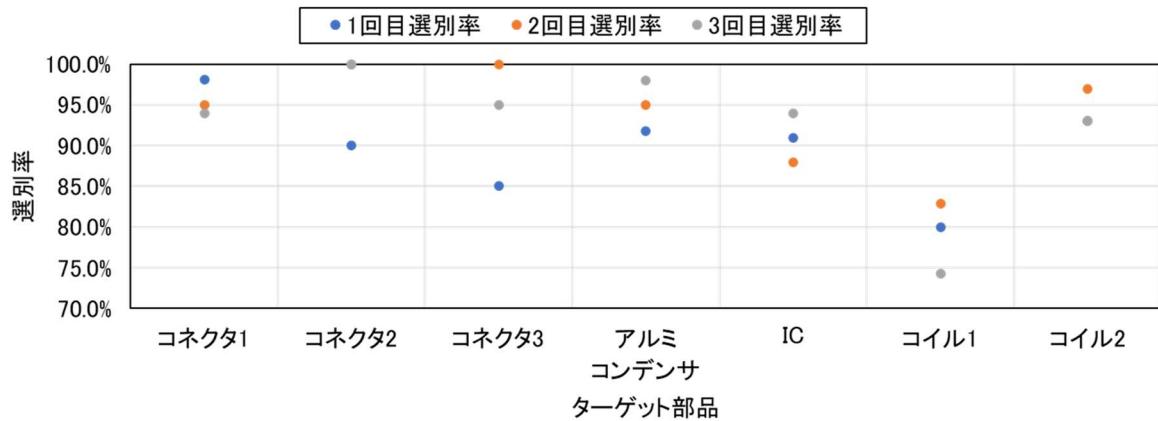


図 29 大型ラインの選別率

#### 1.1.4. 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う。



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する。



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する。

## 1.2. O<sub>2</sub> 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

### 1.2.1. 前提条件

#### 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、O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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、O<sub>2</sub> 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) 昨年度までの成果概要

##### (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 5 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 32 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 5 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 | ○            | ○         |

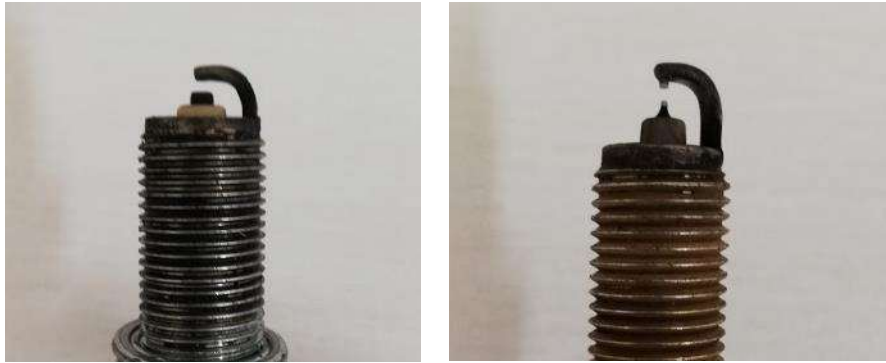


図 32 通常プラグ（左）と長寿命プラグ（右）

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33に示すようになった。



図 33 分離後の外側電極（左）と中心電極（右）

図33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 O<sub>2</sub> センサー

O<sub>2</sub> センサーの内部構造は、概ね図34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O<sub>2</sub> 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。

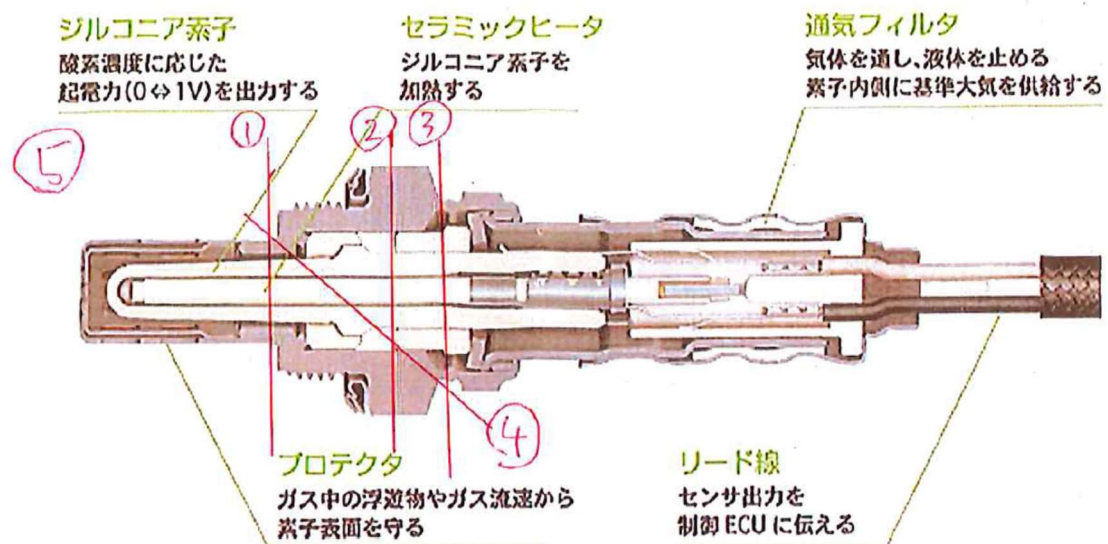


図 34 プラチナをターゲットとした場合の O2 センサーの切断箇所（画像出所：NGK「ジルコニア酸素センサ」([https://www.ngkntk.co.jp/product/sensors\\_plugs/zirconia\\_oxygen.html](https://www.ngkntk.co.jp/product/sensors_plugs/zirconia_oxygen.html))

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 35 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 36 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。

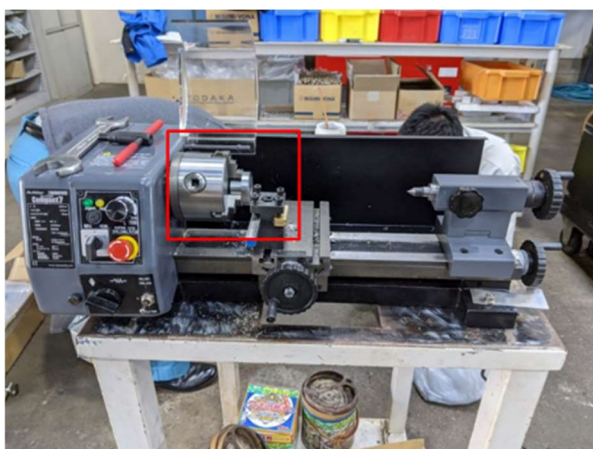


図 35 小型旋盤（左）と O2 センサー固定治具（右）



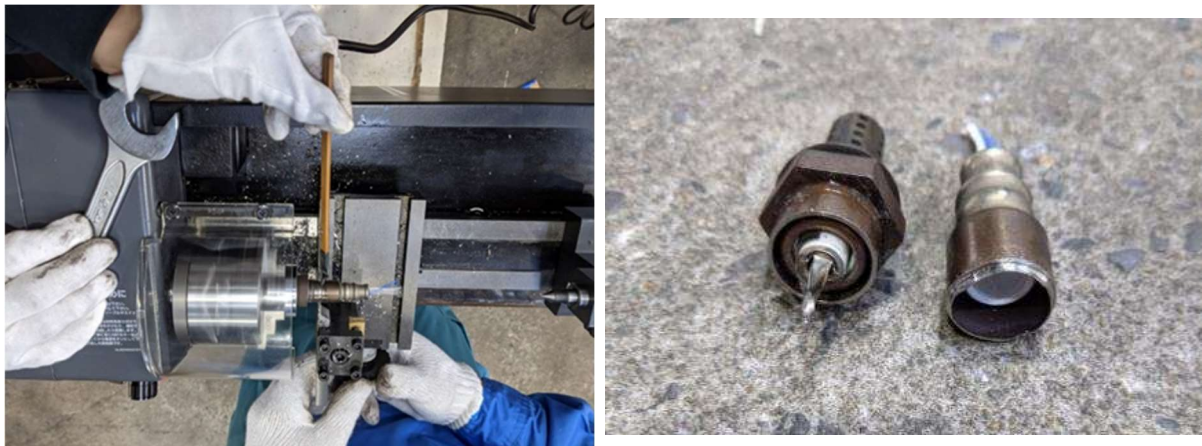


図 36 O2 センサーの切断状況（左）と切断後の状況（右）

## （2） 回収可能性の検討

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 37 に示す。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。

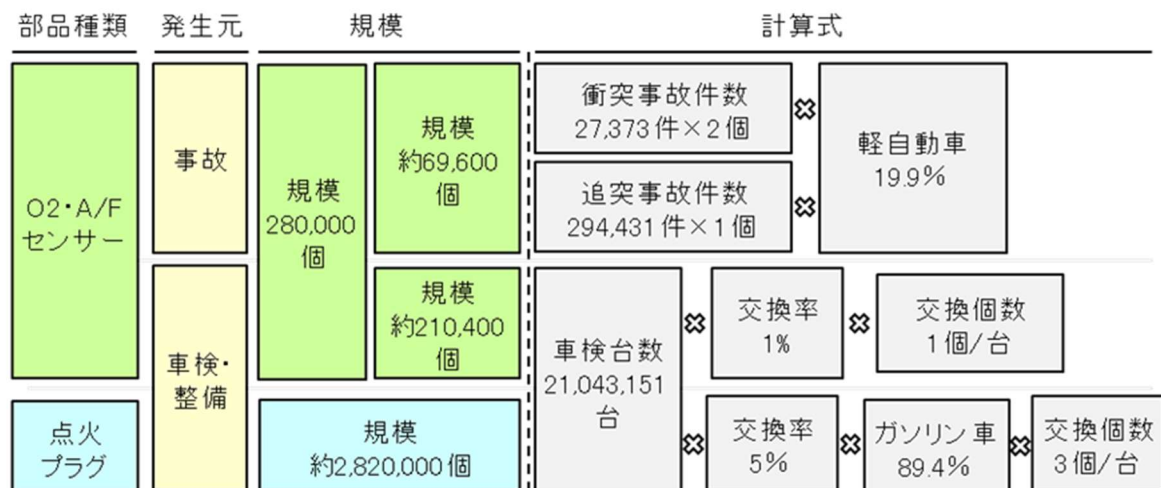


図 37 着火プラグ・O2 センサーの市場規模の推定

## （3） 整備工場からの回収モデルのパイロット実証

ヒアリングの結果から、小規模分散的に回収される着火プラグ・O2 センサーを集積するために、レターパックを利用した回収モデルの実証を行った。全国 22 社の整備工場と連携し、合計 46 枚のレターパックで、1,436 本の着火プラグを回収した。このうち、PGM を含有しない通常プラグは 136 本入っており、混入率は約 9%であった。回収コスト面では、図 38 に示すように、整備工場によって封入される本数にばらつきがあり、最大限詰め込まれていれば 10 円/本を下回るが、

封入余地が大きく残されている場合には 400 円/本に近くなってしまう。中央値は 12.9 円/本であったが、コストを削減し、事業採算性を高める余地は残されていることがわかった。

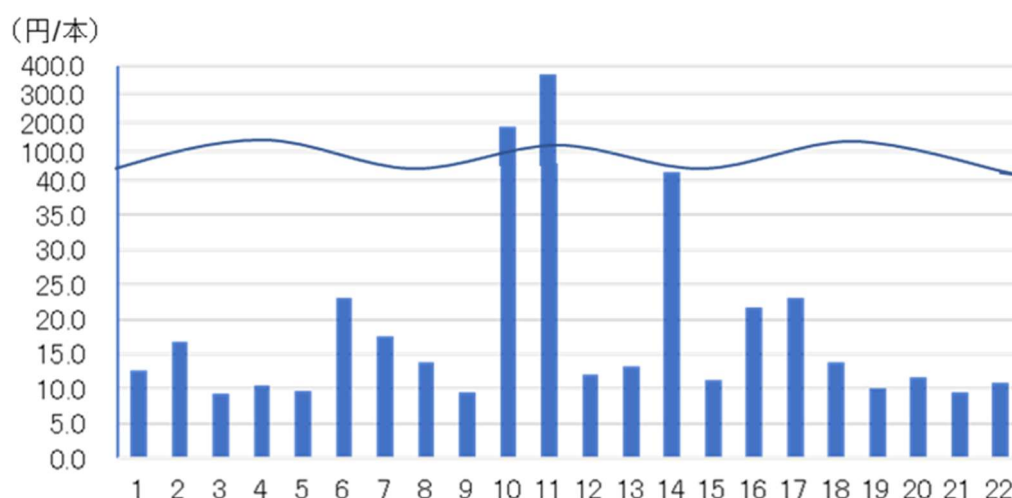


図 38 レターパック回収コスト

#### (4) エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討

整備工場へのヒアリング調査にて、エンジンリサイクル工場からの回収可能性について示唆された。熊本県所在のエンジンリサイクル工場において、エンジンを溶融するアルミ溶鉱炉の残差中に着火プラグが残存していることを確認済みであり、同エンジンリサイクル工場に 1 週間分の残差の保管を依頼し、残渣中から着火プラグを回収し、回収容易性および残存本数を確認することとした。1 週間分のアルミ溶鉱炉残渣は図 39 に示すように、フレコンバッグ 3 個分の量であった。残渣中には他の自動車部品も混ざっていることから、手作業で着火プラグのみをピックアップした。フレコンバッグ 3 個分の残差からピックアップに要した時間は 2 人で 3 時間であり、図 40 に示すとおり 332 本の着火プラグを回収した。

その他、エンジン専業ではないエンジンリサイクル工場にヒアリングを実施した。エンジン専業ではないエンジンリサイクル工場では、入荷の段階でエンジンが解体されており、着火プラグが処理前に取り外されている状況であることがわかった。この場合、エンジンリサイクル工場からの着火プラグ回収は不可能であるが、エンジン専業で処理している問屋等で着火プラグが発生しているのではないかと意見があった。

さらに、埼玉県のある 1 社のエンジン専業のエンジンリサイクル工場へのヒアリングを実施した。原料となるエンジンは図 41 に示すように破碎された後に溶解されており、回収を実施した熊本のエンジンリサイクル工場と異なり手解体のプロセスはなく、残渣から着火プラグの回収はできないことがわかった。しかし、エンジンリビルド会社では消耗品として着火プラグを交換している可能性があるのではないかと意見があり、エンジンリビルド会社からの回収可能性を見出した。





図 39 1 週間分のアルミ溶鉱炉残渣



図 40 1 週間分の残渣からピックアップした着火プラグ（332 本）



図 41 埼玉のエンジンリサイクル工場における破碎後溶解プロセス

## (5) 回収モデルの検討・構築

以上のレターパックを使った回収のパイロット実証およびエンジンリサイクル工場からのピックアップならびにヒアリング結果を踏まえ、経済性を考慮した回収可否の検討を行った。図 42 は、整備工場の種類、規模と回収可能性の可否を一覧に示したものである。整備・板金業者を対象とした回収では、大規模事業者であれば宅配便で郵送回収する規模の本数が見込める。宅配便による回収とした場合、事業採算性がとれる回収コストで収まるかどうかは検討課題である。中規模および小規模の整備・板金業者は、本年度実証のレターパックによる回収パイロット実証の対象であり、経済的に回収できることを実証済みである。エンジンリサイクル会社については、溶解までのプロセスにより、回収可否が分かれることを確認した。破碎後に溶解するプロセスで行っている会社では、着火プラグ、O2 センサーがともに破碎されてしまうため回収はできない。一方、手解体後に溶解するプロセスの会社であれば、溶鉱炉残渣からピッキングすることで回収可能であり、ピッキングコストは1本あたり8円程度であった。後者のプロセスの会社は、本年度ピッキングを実施した熊本のエンジンリサイクル会社以外に、愛知県にもあることを確認している。解体業者からの着火プラグ回収は、使用済み自動車から取り外されたエンジンはそのままエンジン専門のリサイクル業者に引き渡されるかリユース部品として販売されることが大半のため回収できないが、O2 センサーは手解体プロセスで回収可能である。回収対象とするためには、既存取引よりも買取価格を高くできるかが重要である。エンジンリビルド会社からの回収可能性は、エンジンリサイクル工場へのヒアリングにより浮上したものであり、消耗品として着火プラグを交換していれば回収可能であるから、実態を確認し検討する必要がある。

|                 |                       | 取り外し可否(経済性考慮)   |        |
|-----------------|-----------------------|-----------------|--------|
|                 |                       | 着火プラグ           | O2センサー |
| 整備・板金業者         | 大規模                   | ○               | ○      |
|                 | 中規模(月30~40個)          | ○               | ○      |
|                 | 小規模(月10本未満)           | ○               | ○      |
| エンジン<br>リサイクル会社 | 破碎後に溶解                | ×               | ×      |
|                 | 手解体後に溶解 <sup>*1</sup> | ○               | ○      |
| 解体業者            |                       | ×               | ○      |
| エンジンリビルト会社      |                       | ○ <sup>*2</sup> | ×      |

<sup>\*1</sup>: 熊本のエンジンリサイクル会社以外に愛知県にも手解体中心の企業があることは把握済み(ヒアリング調査等は未実施)  
<sup>\*2</sup>: 本年度のエンジンリサイクル会社へのヒアリングの可能性であり、次年度調査が必要

図 42 着火プラグ・O2 センサーの回収モデル検討

### 3) 実証概要

昨年度は、着火プラグ・O2 センサーの効率的な PGM 含有部位の分離方法を確立した。今年度は、事業採算性の向上に向け、より効率的な回収方法の検討及び、分離工程も含めたスキームの構築を行った。

#### (1) 整備工場からの回収モデルのパイロット実証

昨年度事業の実証結果から、車検整備台数が多い整備工場からはレターパックによる回収可能性が高いことから、本年度も継続して回収を行い、資源売却要件の検討に必要な量を確保し、社会実装に向けた最終的な運用確認を行う。

#### (2) エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討

昨年度事業の整備工場以外からの回収の検討結果から、手解体中心のエンジンリサイクル会社においては着火プラグの回収可能性があるが、多くが破碎を中心としていることが把握できている。そこで、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からの回収可能性を検討する。

### (3) 回収モデルの構築

上記(1)、(2)に加え、大規模整備工場や地域部品商と連携した発生量の少ない板金業者からの回収スキームを検討し、O2 センサー・着火プラグの回収ネットワークの拡大を図る。

#### 1.2.2. 整備工場からの回収モデルのパイロット実証

昨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、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、今年度は 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、昨年度において、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 43 に、実証結果を表 6 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。昨年度と異なり、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 44 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。

昨年度パイロット実証結果との比較を表 7 に示す。今年度は、昨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、昨年度 12.9 円に対し、今年度 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昨年度と変化なく約 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](mailto: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 43 整備工場への協力案内



表 6 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 | レタパ<br>No. | 高品位<br>プラグ | 通常<br>プラグ | プラグ<br>合計 | O2<br>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          |
|          |      |       |     | 14         | 600        | 58        | 658       | 9          |

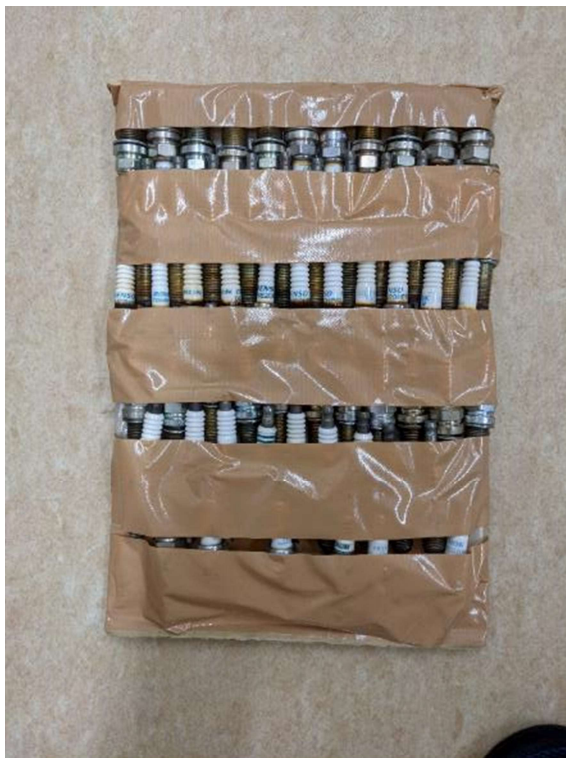


図 44 60 本封入の状況

表 7 レターパック回収パイロット実証の昨年度との比較

|                      | 昨年度              | 今年度      |
|----------------------|------------------|----------|
| 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<br>(中央値) | 12.9 円           | 8.2 円    |

### 1.2.3. エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討

#### 1) エンジンリサイクル工場へのヒアリング

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、昨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。

#### 2) リビルトエンジン会社へのヒアリング

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。現在、取引条件について協議をしている。

#### 1.2.4. 回収モデルの構築

##### 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、しょう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しょう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、昨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、昨年度試算時給 1000 円ベースから、しょう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。

作業所におけるしょう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 45、図 46 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 8 に、回収、分離、精錬時回収等に要する経費を表 9 に、事業採算性について表 10 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%と昨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。

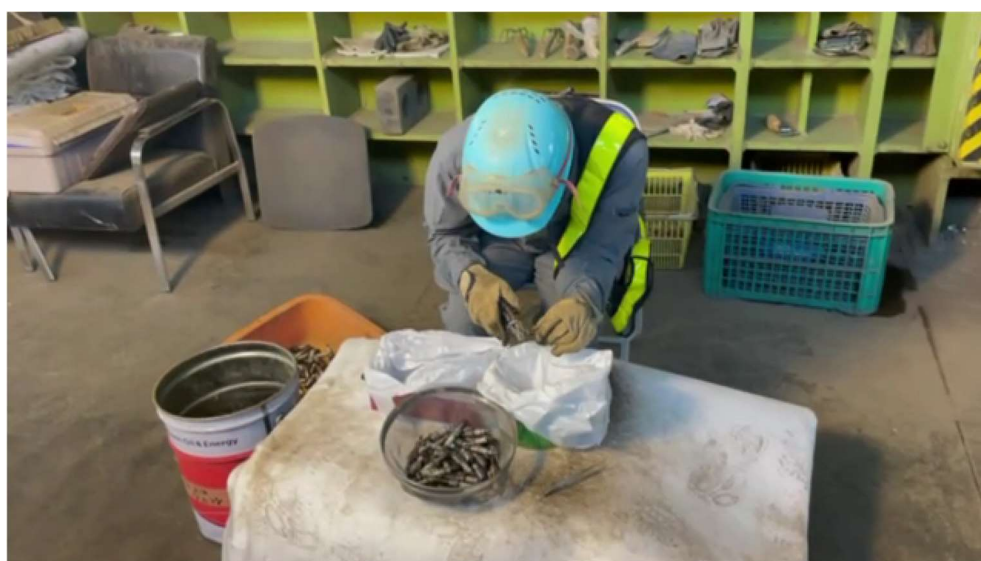


図 45 福祉連携による分離作業風景



図 46 福祉連携により分離した検体

表 8 福祉連携スキームの資源価値試算

| ターゲット<br>PGM | 上目重量<br>(*1)<br>(g) | 回収率<br>(*2)<br>(%) | 含有率<br>(%) | 資源<br>回収量<br>(g) | 資源相場<br>(*3)<br>(円/g) | 重さあたり精製費<br>(*2)<br>(円/g) | 精製費<br>(円) | 資源価格<br>(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)昨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 9 福祉連携スキームの経費試算

| 費目          | 単価          | 量     | 合計金額<br>(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)昨年度の田中貴金属見積から引用

**表 10 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で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。

### 1.2.5. 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、今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。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。



### 1.3. ビジネスモデルの DX に関する検討

#### 1.3.1. 前提条件

##### 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。

#### (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 47 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 47 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。

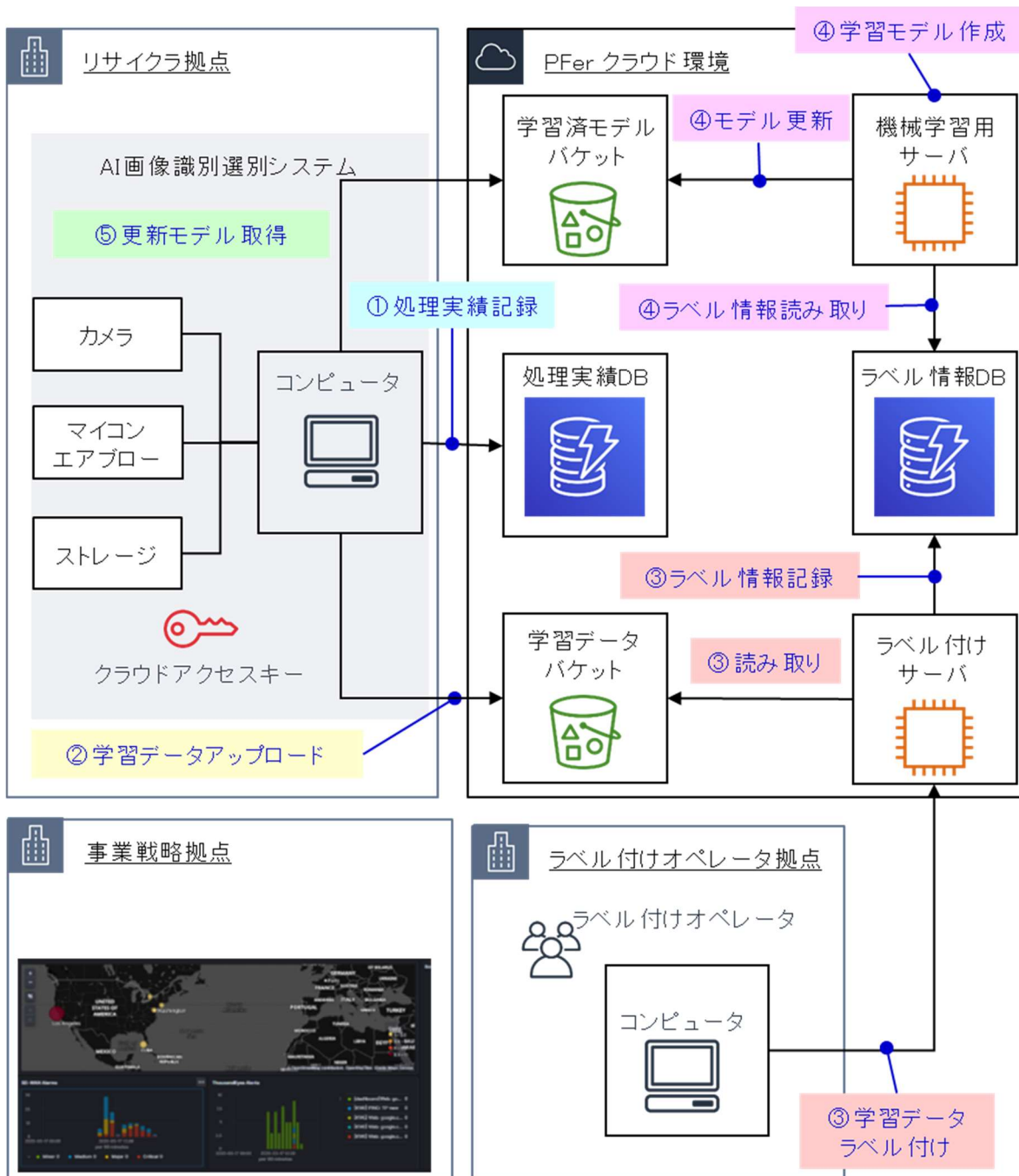


図 47 AI 画像認識選別システムの DX 事業モデル

## (2) AI 画像認識選別システムの提供方法

AI 画像認識選別システムを設置するリサイクラの規模に応じて、3 パターンの提供方法を検討した。提供方法を図 48 に示す。図中のリサイクラ規模の目安、売買に関するシステム等の概要は以下の通りである。

### ① 大規模リサイクラ

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 小規模リサイクラ

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。

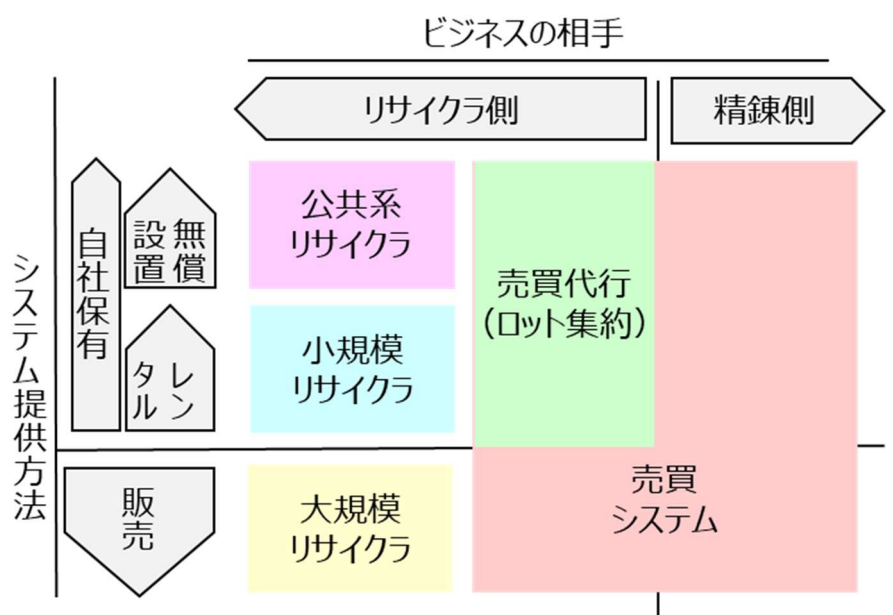


図 48 ビジネスの相手に応じた AI 画像認識選別システムの提供方法

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。

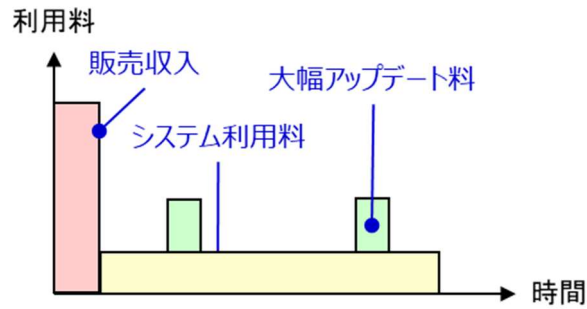


図 49 販売モデル概要

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。

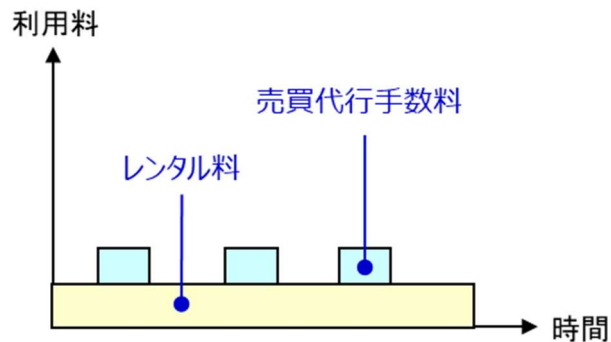


図 50 レンタルモデル概要

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。

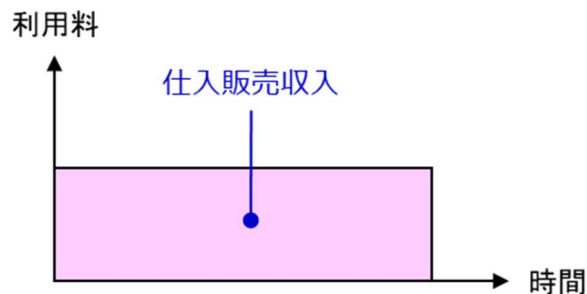


図 51 無償設置モデル概要

## 2) 実証概要

昨年度事業で検討した事業モデルの商用化に向けた IT システムを設計・構築し、テスト工場に

において検証作業を行う。具体的には、AI 画像認識選別システムを社会実装するにあたり、実装対象となるリサイクラのネットワークインフラを調査する。その結果を踏まえ、AI 画像認識選別システムの IT システム（部品選別情報、画像情報等のシステム導入先からの情報収集、AI 学習のための画像情報への部品情報のラベリングシステム、学習済み AI モデルの更新システム）を設計・構築する。さらに構築したシステムについて、株式会社アステック入江 FM 事業部響工場をテスト工場として検証する。

### 1.3.2. 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と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。

### 1.3.3. 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

前年度構築した図 47 のモデルの PPer クラウド環境の設計・構築を実施した。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、③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み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、学習済み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 52～図 56 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

テーブルの情報の表示

スキャン クエリ

データベース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 読み込みに必要なサブスクリプション: 0.5

返された項目 (1)

アクション ▼ 項目の作成

☐ 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 52 処理実績 DB に記録した状況 (①テスト)

[Amazon S3](#)
[s3-ec2-logs](#)
[EC2R07/](#)
[EC2R0307/](#)
[2021/09/17/](#)
[data-s3/](#)
[S3001/](#)
[G0007/](#)

000001/

SS URL をコピー

オブジェクト
プロパティ

### オブジェクト (1/25)

オブジェクト名は、Amazon S3 コンソールまたはコマンドラインインターフェイスで、**Amazon S3 インスタンス** を作成して、バケットの作成後にオブジェクトが自動的に作成されます。このユーザーインターフェイスのオブジェクトは、自動的に作成されたオブジェクトと一致する場合があります。

☐
☒ S3 URL をコピー
☐ URL をダウンロード
☐ 開く
☐ 削除

<
>
🔍

| 名前        | タイプ | 作成日時                         | サイズ     | ストレージクラス |
|-----------|-----|------------------------------|---------|----------|
| 61445.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.6 KB | スタンダード   |
| 61446.png | png | 2021/09/17 6:24:09.18 PM +09 | 16.3 KB | スタンダード   |
| 61448.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.6 KB | スタンダード   |
| 61449.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.5 KB | スタンダード   |
| 61447.png | png | 2021/09/17 6:24:09.18 PM +09 | 16.7 KB | スタンダード   |
| 61448.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.6 KB | スタンダード   |
| 61449.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.6 KB | スタンダード   |
| 61750.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.5 KB | スタンダード   |
| 61418.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.5 KB | スタンダード   |
| 61633.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 16.6 KB | スタンダード   |
| 61658.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 19.1 KB | スタンダード   |
| 61706.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 14.8 KB | スタンダード   |
| 61707.png | png | 2021/09/17 6:24:09.17 PM +09 | 14.3 KB | スタンダード   |

図 53 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 54 ラベル付け Web アプリケーションの動作確認 (③テスト)



図 55 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)

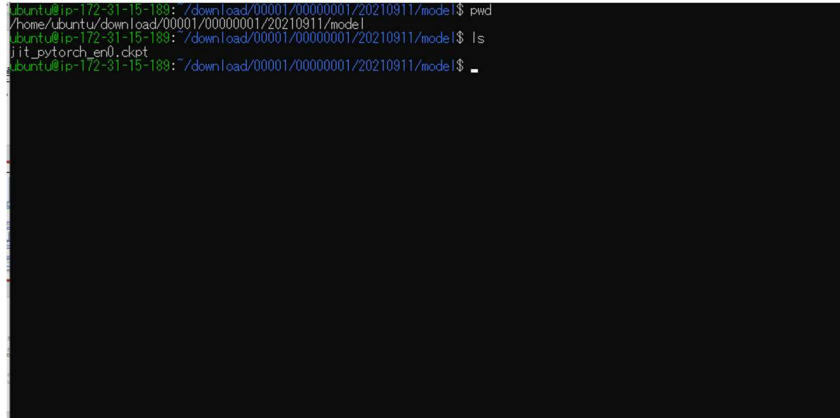


図 56 学習済みモデルバケットからダミーローカル PC へのダウンロード (⑤テスト)

## 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。

### 1.3.4. 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。

## 1.4. 事業性の評価

### 1.4.1. 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 57 に、着火プラグの溶解前後比較を図 58 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 11 に示す。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 12 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 57 着火プラグの溶解状況



図 58 着火プラグの溶解前後比較

表 11 溶解金属の評価試算

|      | 純度<br>(%) | 含有量<br>(t) | 総評価額 (円) | 評価係数  | 評価額<br>(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 12 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 |

#### 1.4.2. PGM 含有率のばらつきの検討

1.2.4 回収モデルの構築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の精錬業者に依頼した。分析結果は表 13 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。

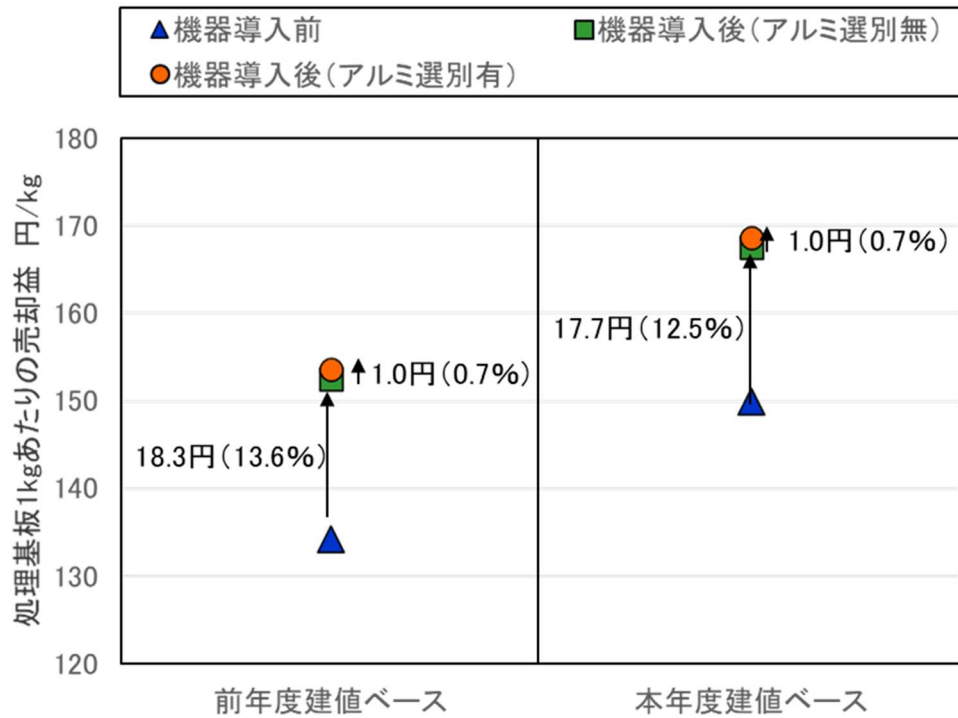
**表 13 着火プラグ成分分析結果**

| 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       |

### 1.4.3. 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、前年度と本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 は前年度 5,475 円/g から本年度 6,200 円/g、Ag は前年度 63 円/g から本年度 80 円/g、Pd は前年度 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 59 の通りとなった。現在の処理基版 1kg あたりの売却益と比較して、前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。本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。



【建値の条件】

Au: 5,475円/g → 6,200円/g

Ag: 63円/g → 80円/g

Pd: 7,965円/g → 7,965円/g

Cu: 500円/g → 500円/g

図 59 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、前述の本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 60 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ことが必要である。

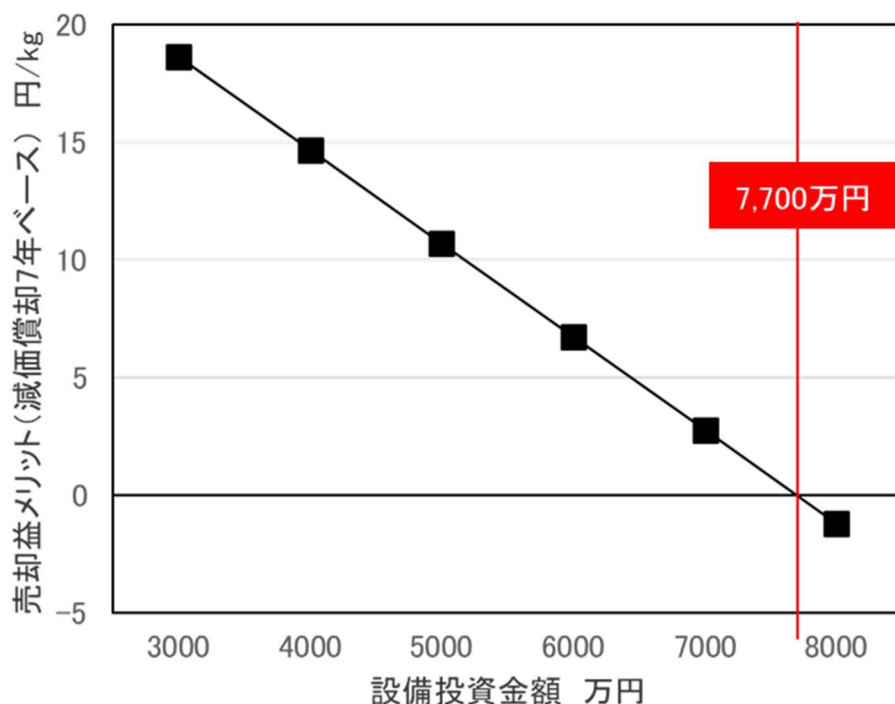


図 60 7 年で設備投資を回収する場合の上限額

## 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 含有部位を精錬業者に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 61 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。

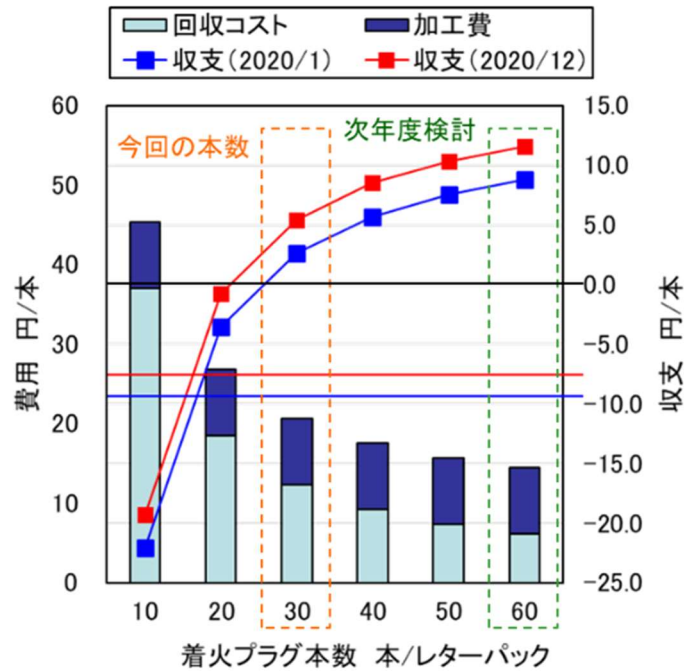


図 61 レターパックによる回収コスト別の収支

#### 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。

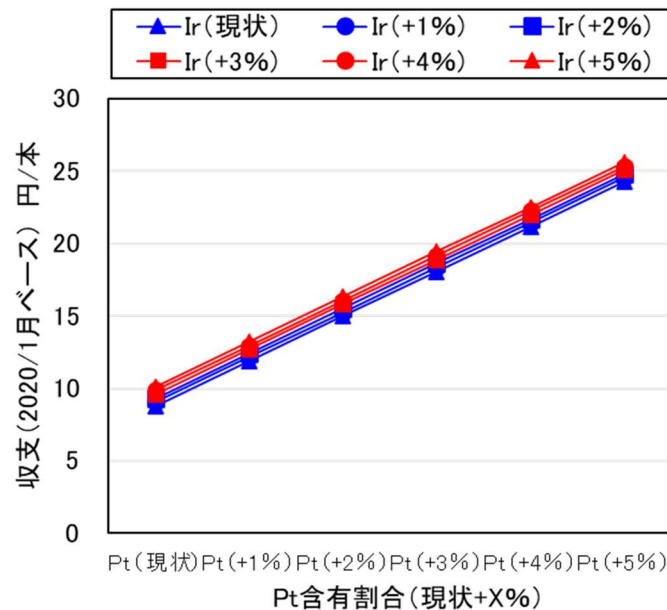


図 62 Pt、Ir 含有量と収支

## 2. 環境影響評価

### 2.1. インベントリ・バウンダリ考え方

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。

#### 2.1.1. 着火プラグ・O2 センサーのインベントリ・バウンダリ（図 63 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・プラチナ含有物は製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、製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製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、製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られる。



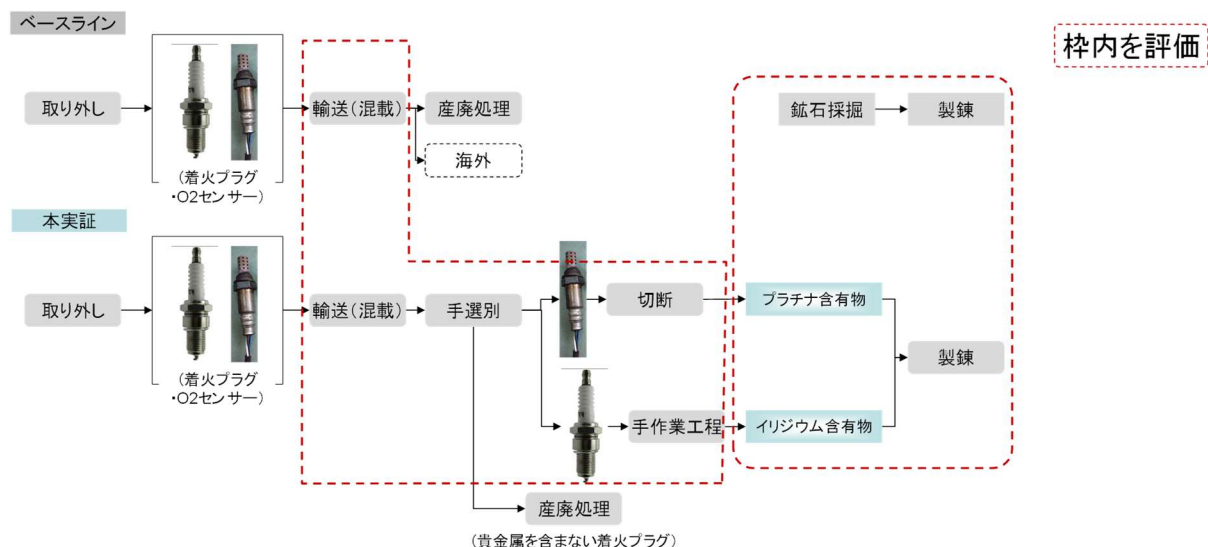


図 63 着火プラグ・O2 センサーのバウンダリ

## 2.1.2. 電子基板のインベントリ・バウンダリ（図 64 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、選別せずに湿式製錬の原料として売却し、湿式製錬では主に金・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製錬の原料として売却し、湿式製錬で金・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製錬する場合と、本事業において貴金属含有部品だけを湿式で製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製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、製錬で回収可能な金・銀濃度が含まれており、今後、湿式製錬以外への売却可能性も含めて検討可能である。）

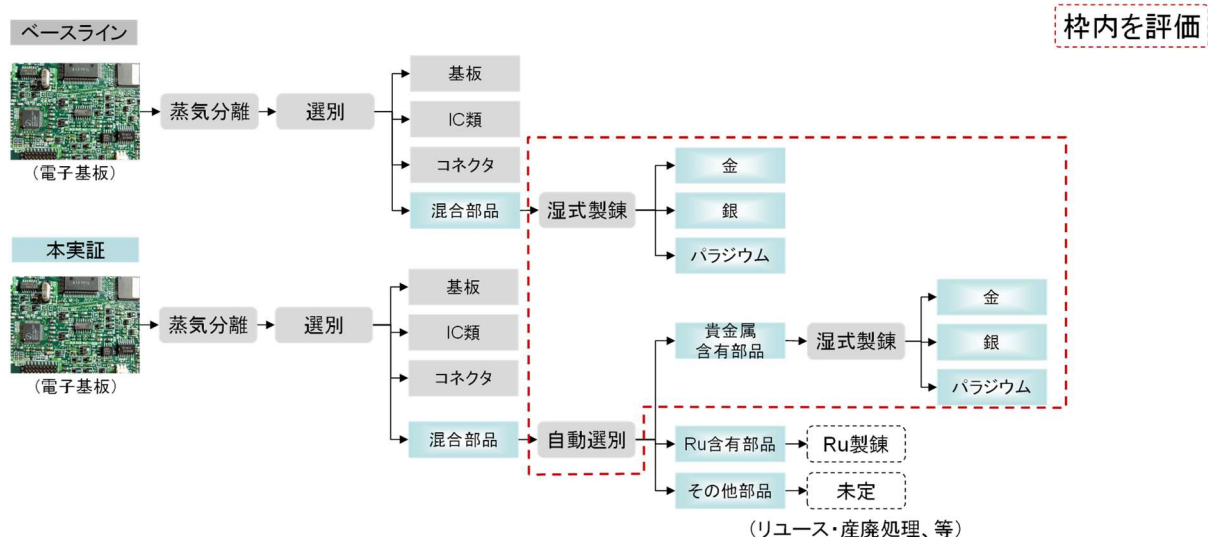


図 64 電子基板のバウンダリ

## 2.2. CO2 削減効果の試算

### 2.2.1. 着火プラグ・O2 センサー（図 65 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鉱石重量を算出した。プラチナ・イリジウム含有物重量と鉱石重量に基づいて、それぞれの製錬にかかる 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、鉱石採掘～輸送は製品コード 053125000 「貴金属鉱石（金銀鉱），精鉱」をもとに 0.144kg-CO2/kg-鉱石とし、鉱石製錬は製品コード 241912000 「金地金（金鉱石原料）」をもとに 0.193kg-CO2/kg-鉱石としている。また、同 LCA データにおける貴金属鉱石の貴金属含有量（品位）は 20g/t となっている。

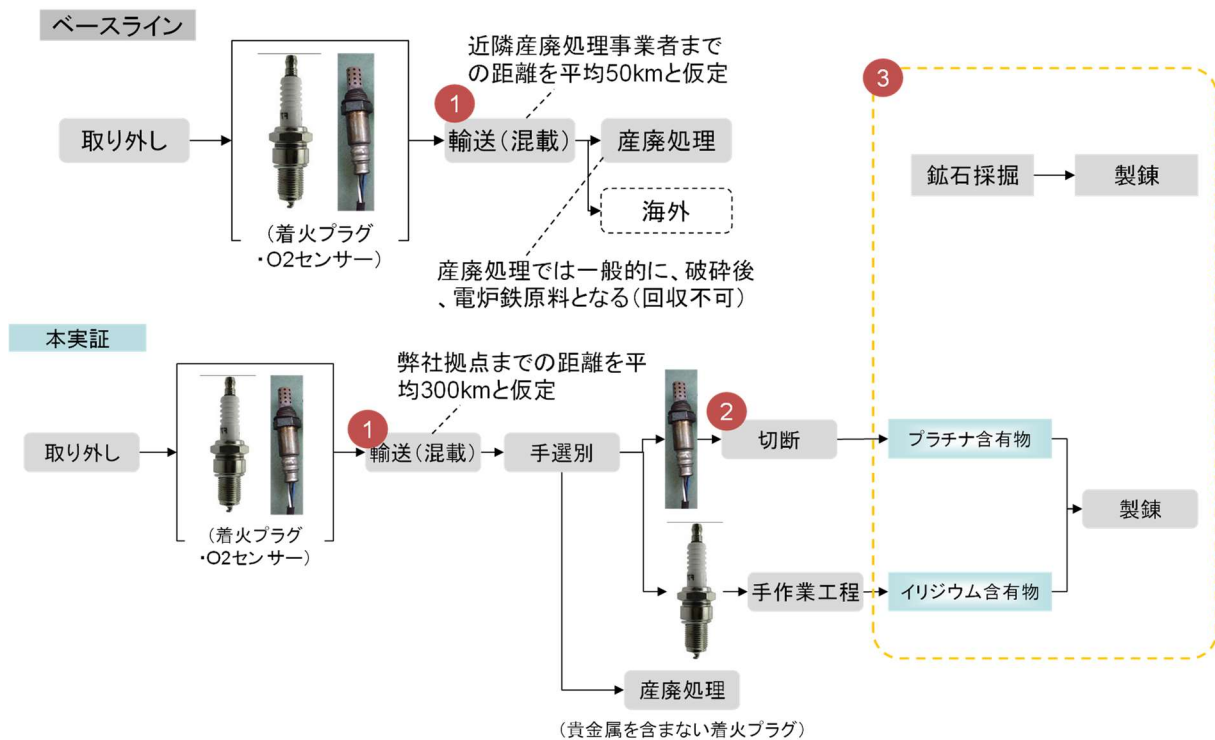


図 65 評価の前提条件

## 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 14 の通りとなった。

ベースライン :  $0.156\text{kg-CO}_2 + 0.057\text{kg-CO}_2 = 0.213\text{kg-CO}_2$

本事業 :  $0.550\text{kg-CO}_2 + 0.203\text{kg-CO}_2 = 0.753\text{kg-CO}_2$

表 14 輸送による CO2 排出量

| 対象<br>(100 本あたり) |            | 輸送重量<br>(kg) | 運搬距離<br>(km) | CO2 係数<br>(kg-CO2/tkm) | CO2 排出量     |
|------------------|------------|--------------|--------------|------------------------|-------------|
| O2<br>センサー       | ベース<br>ライン | 10.59        | 50           | 0.294                  | 0.156kg-CO2 |
|                  | 本事業        |              | 300          | 0.173                  | 0.550kg-CO2 |
| 着火<br>プラグ        | ベース<br>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 15 PGM 含有部位の分離における CO2 排出量

| 対象<br>(100 本あたり) | 消費電力<br>(kWh) | CO2 係数<br>(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】  $34.1\text{kg-鉱石} \times 0.144\text{kg-CO2/kg-鉱石} = 4.910\text{kg-CO2}$

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

本事業：

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

表 16 分離部位の精錬による CO2 削減効果

| 対象     |      | 鉱石重量<br>(kg-鉱石) | CO2 係数<br>(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 17 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。

従前では回収されていなかった Pt、Ir の循環量の増大に伴う資源循環による環境影響改善効果は次年度評価する。

表 17 本事業による CO2 削減効果

| 対象              |       | 鉱石重量<br>(kg-鉱石)                     | CO2 係数<br>(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 |

## 2.2.2. 電子基板

### 1) 評価の前提条件（図 66 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。

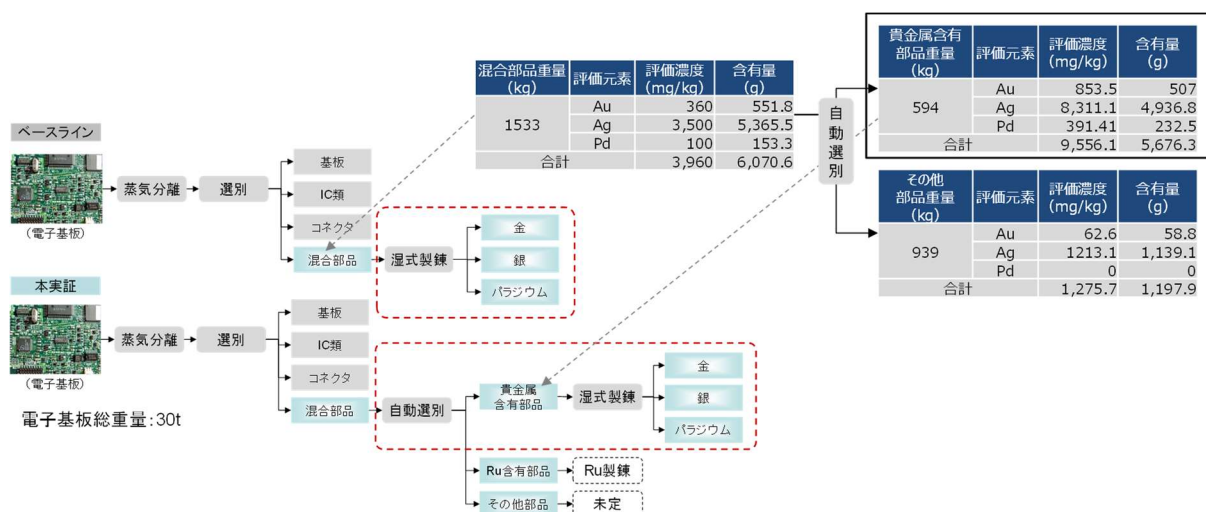


図 66 評価の前提条件

## 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-CO<sub>2</sub>/kg とし、濃度 3,960mg/kg の原料を溶解する際にかかる CO<sub>2</sub> 排出量は 806.11kg-CO<sub>2</sub>/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-CO<sub>2</sub>/kg-貴金属とした。以上から、ベースラインの湿式製錬にかかる CO<sub>2</sub> 発生量は 871.49kg-CO<sub>2</sub>/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-CO<sub>2</sub>/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 CO<sub>2</sub> 発生量は、0.4kg-CO<sub>2</sub>/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 CO<sub>2</sub> 排出係数は 1.467kg-CO<sub>2</sub>/kg とし、濃度 9,556.1mg/kg の原料を溶解する際にかかる CO<sub>2</sub> 排出量は 335.05kg-CO<sub>2</sub>/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-CO<sub>2</sub>/kg-貴金属とした。

以上から、選別後部品の湿式製錬にかかる CO<sub>2</sub> 発生量を 399.42kg-CO<sub>2</sub>/kg-貴金属 (③) とした。

## 5) まとめ

本事業による CO<sub>2</sub> 削減効果は、上記混合部品の湿式製錬 CO<sub>2</sub> 排出量 (①) - 自動選別にかかる CO<sub>2</sub> 排出量 (②) - 選別後貴金属含有部品の湿式製錬 CO<sub>2</sub> 排出量 (③) として算出できる。計算の結果、CO<sub>2</sub> 削減効果は 471.67kg-co<sub>2</sub>/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あ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次年度評価する。

(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、CO<sub>2</sub> 削減効果は、21.419t-CO<sub>2</sub>/年となる



### 3. 事業化可能性の検討

#### 3.1. 既存技術との比較

##### 3.1.1. 着火プラグ・O2 センサー

着火プラグ、O2 センサー共に、従来は鉄スクラップとしてリサイクルされているが、外側・中心電極の分離によりプラチナ・イリジウムとしてリサイクルでき、資源評価を最大限に引き出せる。イリジウム含有部位は精錬業者と取引できることを確認しており、プラチナ含有部位も取引できる可能性がある。また、PGM 含有部位を除いた雑品とされる残りについても、塩化鉄プロセスにより鉄、ニッケル、銅を回収できることを確認しており、採算性がとれると試算している。

##### 3.1.2. 電子部品

電子基板を破碎して精錬所に売却する従来技術では、PGM は資源評価下限濃度に満たないケースがほとんどだが、本技術により電子部品をグルーピングすることで濃縮され、PGM がリサイクルできる。また精錬所で忌避されがちなアルミ等も除去した上で脱酸剤として売却できる可能性があり、電子基板の資源評価を最大限に引き出せる。

#### 3.2. 採算性の評価

##### 3.2.1. 着火プラグ・O2 センサー

###### 1) 着火プラグ

着火プラグのプラチナおよびイリジウム含有量の分析結果に基づき、処理費と精錬費を金属評価額から差し引き、1 本あたりの最終評価額を算出した。

本年度分析の結果、外側電極に含有されるプラチナは、アルミ精錬後に回収されたものと整備工場で回収されたもので含有量に違いが見られた。アルミ精錬後の 21,000mg/kg に対し整備工場は 7,000mg/kg であった。1 本当たり含有量もアルミ精錬後は 2.75mg/本、整備工場は 1.37 mg/本と違いがあった。2021 年 1 月度平均のプラチナの税抜買取価格が 3,692 円/g であり、精錬費 50 円/g を差し引いた評価額は 3,642 円/g である。ここから、着火プラグ 1 本あたりのプラチナ評価額はそれぞれ 10.0 円/本と 5.0 円/本と算出できた。

一方、中心電極に含有されるイリジウムは、アルミ精錬後に回収されたものと整備工場で回収されたものでは含有量に大きな差は見られなかった。アルミ精錬後の 20,000mg/kg に対し整備工場は 34,000mg/kg で、1 本当たり含有量はそれぞれ、0.235mg/本と 0.286mg/本であった。2021 年 1 月度平均のプラチナの税抜買取価格が 12,492 円/g であり、精錬費 50 円/g を差し引いた評価額は 12,442 円/g である。ここから、着火プラグ 1 本あたりのイリジウム評価額はそれぞれ 2.9 円/本と 3.6 円/本と算出できた。上記プラチナの評価額と合計して、アルミ精錬後の着火プラグは 1 本あたり 12.9 円/g であり、整備工場から回収した着火プラグは 8.6 円/g と算出した。

ここで、着火プラグ 1 本からプラチナ含有部位、イリジウム含有部位を分離するのに有する時間は 30 秒～60 秒程度である。従って、1 時間あたり処理量は 60 本～120 本となる。この時、時給 1,000 円と想定すると、1 本あたりの人件費はそれぞれ約 17 円、約 8 円となる。輸送費を考慮するといずれの場合も、採算性が取れない結果となったが、昨年度の分析結果から算出した着火

プラグ 1 本あたりの最終評価単価は、約 23.3 円/個であり、バラツキが大きいと、次年度も引き続きに精錬業者との売却要件についての検討を通じて原因を追及し、採算性向上に向けて検討する。

## 2) O2 センサー

O2 センサーのプラチナ含有量の分析結果に基づき、処理費と精錬費を金属評価額から差し引き、最終評価額を算出した。本年度の分析の結果、含有量は 2,400～3,800mg/kg、O2 センサー1 本あたりでは 8.5～8.7mg/本のプラチナを含有していることがわかった。2021 年 3 月 5 日現在のプラチナの税抜買取価格が 3,692 円/g であり、精錬費 50 円/g を差し引いた評価額は 3,642 円/g である。ここから、O2 センサー1 本あたりの最終評価単価を算出すると、31.7 円/本であった。

分離に要するコストについては、治具の開発と小型旋盤を使った切断分離方法により、慣れれば所要時間 15 秒/本でできることを確認した。この時、時給 1,000 円と想定すると、1 本あたりの人件費は約 4.2 円となる。また、小型旋盤に取り付ける 2,000 円の突切ブレードと呼ばれる刃物は、研磨しながら使用すれば O2 センサー500 本程度を切断するまで使用できる見込みのため、O2 センサー1 本あたり 4 円程度のコストがかかる。さらにレターパックによる輸送費 12.3 円/本を加えると、O2 センサー1 本あたり 20.5 円のコストがかかる。

分析の結果、昨年度より大幅にプラチナ含有量が下がっていたため O2 センサー1 本あたりの売却額も下がったが、小型旋盤を使用した分離方式に変更したことにより、O2 センサー1 本あたり 11.2 円/本の売却益が見込め、採算性は取れる結果となった。昨年度と比較したときのプラチナ含有量のバラツキについては、次年度に精錬業者との売却要件についての検討を通じて原因を追及し、採算性向上に向けて検討する。

### 3.2.2. 電子部品

本事業における電子部品選別システムを（株）アステック入江の電子基板リサイクル事業へ導入した場合での事業性を検討した。同社における事業規模は 30t（電子基板重量ベース）/月である。本事業により、チップ抵抗、セラミックコンデンサといったパラジウム高含有部品を選別回収することで、湿式精錬業者への高回収率での販売が可能となること、加えて、タンタルコンデンサもタンタル原料として販売できることから、建値の変動を考慮しても従来の乾式精錬業者への販売よりも 12.5%～13.6%の売上高アップとなる。さらに、選別したアルミコンデンサを脱酸剤として売却した場合の売却益も含めると、13.2%～14.3%の売上高アップとなる。

また、一般的な電子基板リサイクル業者は（株）アステック入江の様な蒸気分離技術を持ち合わせておらず、特にパラジウムは資源評価されないケースが殆どである。本事業での部品選別システムと蒸気分離技術を組み合わせることで、各リサイクル業者へのシステム展開が期待できる。本年度で検討した 3 パターンの AI 画像認識選別システムの展開方法について事業採算性については、低コスト化等の検討を踏まえた上で次年度検討する。

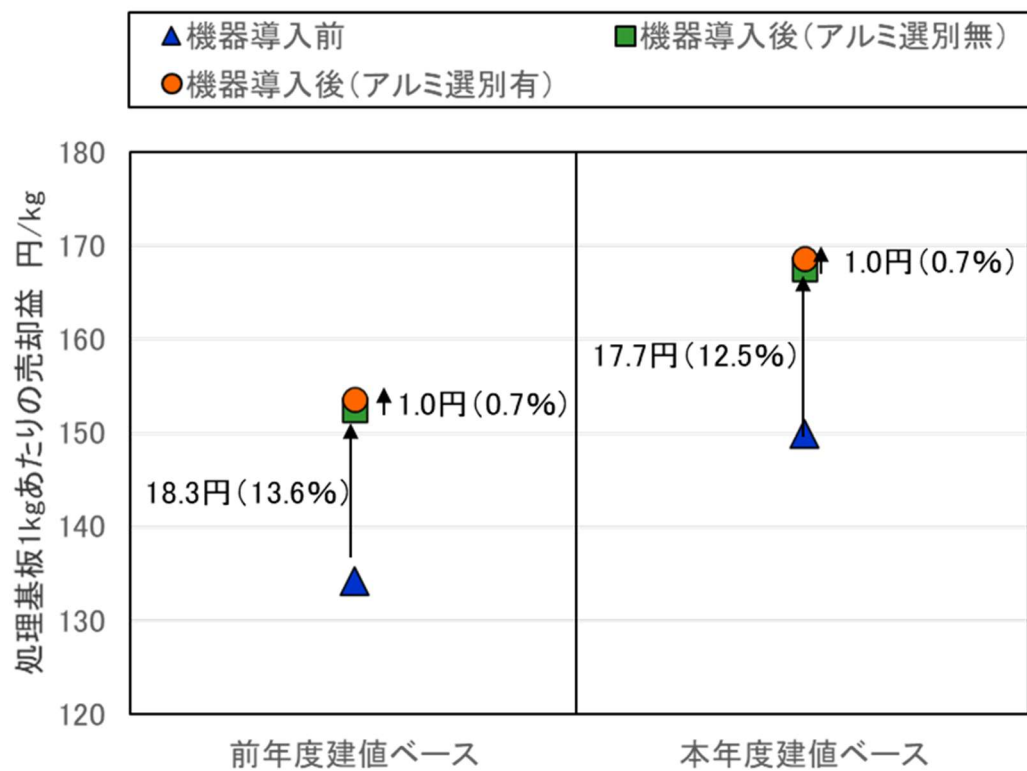


図 67 建値を考慮した AI 画像認識選別システムの導入による売却益の変化

### 3.3. 事業化に向けた課題

#### 3.3.1. 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

##### 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

篩一体型の AI 画像認識選別システム試作機が完成し、テスト工場において一連の動作確認を行ったが、篩選別においてコネクタなどの長物部品のブリッジや、篩網穴またはシュート部の詰まりが発生し、ボールフィーダに部品供給されなくなる課題を把握している。これに対して、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や、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又は篩網穴の形状変更の検討を行い、多種多様な部品に対して詰まりを防止する篩選別への改良を行う。

##### 2) 連続運転時の稼働安定化の向上

蒸気分離後の多様な部品群でテストした結果、コンベア上でピン状の部品が詰まり塊となり、コンベアの停止や、コンベア汚れによる AI 選別精度の低下の課題を把握している。これに対して、ピン上の部品や、選別対象部品以外のゴミを事前除去し、コンベアに流れ込まないような改良や、汚れが付きにくいベルトコンベアへの変更と、コンベア汚れに対するクリーニング機能の実装を行う。

##### 3) リサイクル工場の作業環境への対応

テスト工場における動作テストで、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、光量が低下する課題を把握している。これに対して、カメラに汚れが着く原因を特定し、防塵対策などを導入するとともに、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する。

#### 3.3.2. ビジネスモデルの DX に関する検討

##### 1) IT システムを活用した運用性の工場

選別時に撮影された電子部品画像をクラウド上に集約し、継続学習させるシステムを構築し、テスト拠点との連携テストで動作確認済みであるが、運用を見据えた命名ルール等の詳細な規則は今後検討する必要がある。また、クラウド環境と連携した利便性を向上させるため、上記 AI 画像認識選別システムにトラブルを検知する仕組みがないことから、昨年度設計・構築した IT システムを使い、詰まりなどの異常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。

##### 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率

過去の知見から選別対象部品に選定した電子部品について、大中小の粒度帯に対応したそれぞれの AI 画像認識選別システムの実機テストで約 90%の選別率を達成している。一方、選定した部品以外は学習が進んでおらず、リサイクル工場によって選別対象部品が異なる可能性があることから、未学習部品への対応が必要となる。また、選別対象外部部品が詰まりの原因となっている課題もあるため、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 の効率的学習方法の確立と、除去のために選別対象外部部品の AI 学習に対応したカスタマイズを行う。

### 3.3.3. 事業性の評価

#### 1) スケールメリットによる AI 画像認識選別システム導入コスト低減の検討

AI 画像認識選別システムの事業モデルとして、①販売モデル、②レンタルモデル、③無償設置モデルの3パターンを検討した。処理量が少ないリサイクラまたは公共系のリサイクラに対しては、設置期間のレンタル料と電子部品の売買代行料を徴収するレンタルモデルまたは電子部品の所有権をアステック入江が持ち、売却代金を徴収する無償設置モデルによる設置を想定している。これらのリサイクラ側のコストについて、同システムの導入規模が増えた場合の低減を検討する。

#### 2) IT システム運用コストの明確化と低減の検討

AI 画像認識選別システムは、提供先の大小にかかわらず IT システムの運用コストが現時点では不明確であることから、AI の学習に必要な画像情報の保持やラベリングなどの運用コストを明確化した上で低減を検討する。

#### 3) 導入コストおよび運用コストに留意した事業計画の策定

上記導入コストおよび運用コストの明確化、低コスト化を踏まえた事業計画を策定する。

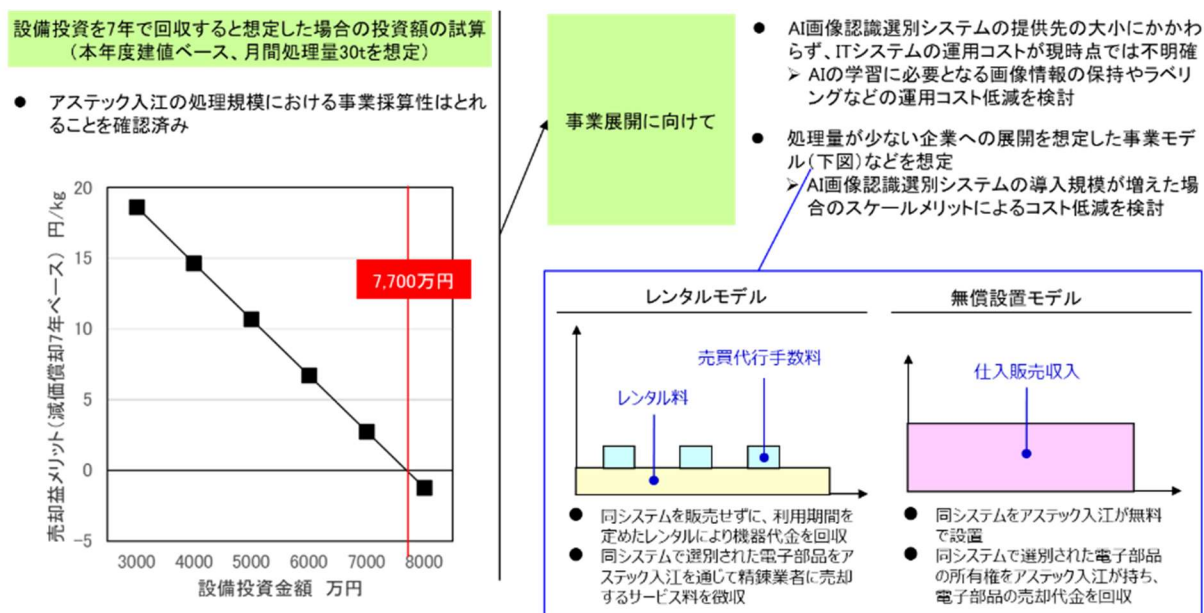


図 68 AI 画像認識選別システム導入時の留意点

### 3.4. 今後の普及見通し

#### 3.4.1. 本事業技術の将来展開イメージ

全国の販売先に設置された AI 画像認識選別システムは、インターネットでクラウド環境に接続されているが、AI による選別処理自体は高速処理が要求されるため、それぞれの販売先に設置されたコンピュータにて行われる。選別の実績記録をクラウド環境に集約し、集約されたデータは AI の継続学習による高度化または新たにニーズが発生した選別部品の学習に活用する。さらに、精錬業者との取引データも集約することにより基盤の経済的価値の評価システムを備える。

自動車部品については、回収のパイロット実証を行った着火プラグのみならず、今後需要の増加が予想されるセンサ類も同時に回収を行い、リサイクルの高度化を狙う。

回収された部品の内、ターゲット PGM を含有しない、あるいはターゲット PGM 含有部位を分離した後の雑品については、既存の塩化鉄プロセスにより資源価値の最大化を図る。

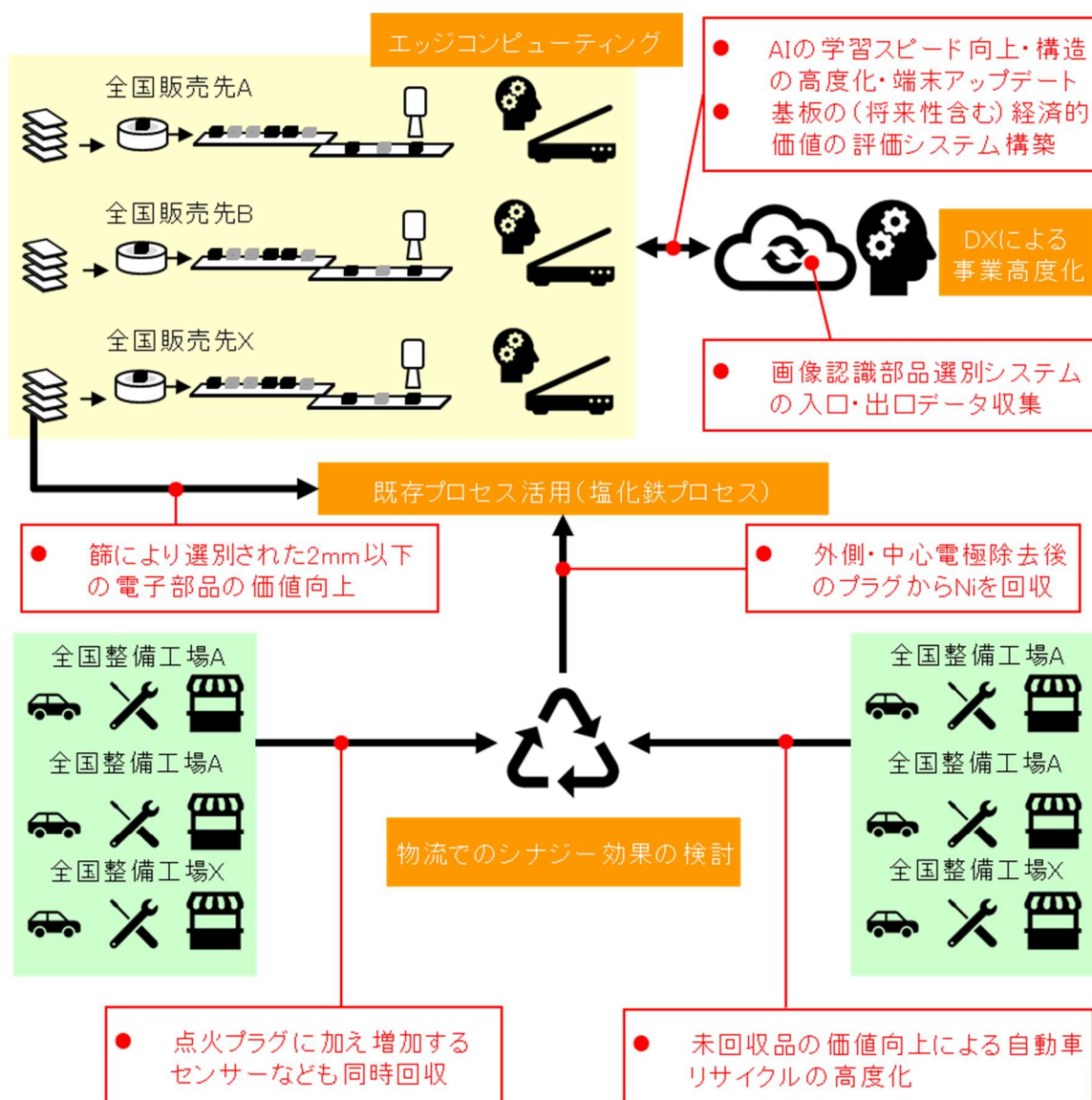


図 69 実証技術の将来イメージ



### **3.4.2. 普及見通し**

#### **1) 着火プラグ・O2 センサー**

##### **(1) 2022 年**

事業を開始し、実証協力工場を中心に整備工場 200 社との回収ネットワークを構築する。1 整備工場あたりからの月間着火プラグの発生量は 30～40 本程度と想定し、年間の目標回収量 7 万本、目標売上高 200 万円とする。

##### **(2) 2025 年**

既存の整備工場ネットワークを核に、着火プラグをターゲットに整備工場 2,000 社との回収ネットワークを構築する。また、O2 センサーをターゲットに解体工場 300 社とのネットワークを構築する。1 整備工場あたりからの月間着火プラグの発生量は 30～40 本程度、解体工場からの O2 センサーの発生量は 100 本程度と想定し、年間の着火プラグ目標回収量 60 万本、O2 センサー回収量 36 万本、目標売上高 6,000 万円とする。

##### **(3) 2030 年**

さらに車体整備協会などと連携し、着火プラグをターゲットに整備工場 10,000 社との回収ネットワークを構築する。また、O2 センサーをターゲットに解体工場 500 社とのネットワークに拡充する。さらに、エンジンリサイクル工場にもネットワークを広げ、5 社程度との取引を目指す。1 整備工場あたりからの月間着火プラグの発生量は 30～40 本程度、解体工場からの O2 センサーの発生量は 100 本程度と想定し、年間の着火プラグ目標回収量 100 万本、O2 センサー回収量 60 万本、目標売上高 1.5 億円とする。

#### **2) 電子部品**

##### **(1) 2022 年**

自社（アステック入江）の既存プロセスに AI 画像認識選別システムを導入し、PGM の濃縮および従来評価されなかったタンタルとしての売却により年間売上高を 4 千万円向上させる。また、蒸気分離と AI 画像認識選別システム 1 式をリサイクル企業 2 社に販売し、機器販売による売上高 1.4 億円を目標とする。

##### **(2) 2025 年**

蒸気分離と AI 画像認識選別システム 1 式をリサイクル企業や携帯電話等を処理する福祉施設等に 10 台販売し、機器販売による売上高 7 億円を目標とする。

##### **(3) 2030 年**

システムの販売先と連携した入口・出口情報に基づくデジタルトランスフォーメーション（DX）による事業高度化、基板の（将来性含む）経済的価値の評価システムを構築し、収集データを用いた情報提供ビジネスを展開する。

### 3) まとめ

本事業を通じた課題解決を行うと 2020 年度以降のマイルストーンを図 70 に示した。2021 年度からは事業化を見込んでいる。

|         | 電子部品                                                                 | 点火プラグ<br>O2センサー                                                                                        |
|---------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2021 年度 | 8mmよりも大きな電子部品を含めた部品グループへの対応<br>ビジネスモデルのDX化に向けたITシステムの設計・構築・テスト検証     | レターパック回収の運用確認と回収ネットワークの拡大検討<br>着火プラグPGM含有部位以外からのニッケル回収量と取引条件の明確化                                       |
| 2022 年度 | 自社の既存プロセスに導入<br>-年間目標、売上高4千万円向上<br>リサイクル企業に機器販売<br>-年間目標、2台、売上高1.4億円 | 実証協力工場を中心に<br>-整備工場200社を想定<br>-年間目標、点火プラグ7万本、売上高200万円                                                  |
| 2025 年度 | リサイクル企業、携帯電話等を処理する福祉施設等に機器販売<br>(10台を見込む)<br>-年間目標、10台、売上高7億円        | 整備工場を中心に回収先を拡大<br>-整備工場2,000社、解体工場300社程度を想定<br>-年間目標、点火プラグ60万本、O2センサー36万本、売上高6,000万円                   |
| 2030 年度 | 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<br>-基板の(将来性含む)経済的価値の評価システム構築      | エンジンリサイクル工場に回収先を拡大<br>-整備工場10,000社、解体工場500社、エンジンリサイクル工場5社程度を想定<br>-年間目標、点火プラグ100万本、O2センサー60万本、売上高1.5億円 |

図 70 2030 年までの普及見通し

### Ⅲ. おわりに

本実証では、昨年度実証で事業採算性がとれると見込んだ電子部品、着火プラグ、O<sub>2</sub> センサーからの PGM リサイクルについて、実事業に向けた回収対象の拡大に関する検討・実証を行った。

電子部品については、AI 画像認識選別システムの改良及び 8mm よりも大きな電子部品に対応した AI 学習により、商業化を見据えた目標値を概ね達成できた。昨年度までに効率的な PGM 含有部位分離方法を確立した着火プラグの回収についても、レターパックを利用した回収の採算性を再確認するとともに、エンジンリサイクル会社からチャーター便にて回収し、福祉作業所において分離作業を行う福祉連携スキームを確立し、次年度以降の継続取引も決定している。ビジネスの DX 化に関する検討では、各リサイクラ拠点と接続されるクラウド環境の構築と連携実証テストを完了している。

次年度は、本年度までに構築したシステムの運用に関する実証を行う。AI 画像認識選別システムのテスト工場における稼働テストで明らかになった連続運転時の部品詰まり等の課題を解消するように機械的な改良を施す。また、AI 画像認識選別システムの DX 化についても、運用面のルールを整備するとともに、各リサイクラ拠点に設置された AI 画像認識選別システムの異常検知及び対応のシステムを備えることにより、更なる利便性の向上に資する改良を行う。