

令和2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2)

報告書

令和3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こと見込みである。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。

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、画像を AI に学習させた。電子部品別に検証を行い、IC チップ、タンタルコンデンサ、コイル、アルミ、水晶振動子、抵抗、セラミック、チップ抵抗の認識率は 90%前後を達成し、高い割合で選別できた。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パラジウム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。

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パ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 O<sub>2</sub> センサー取り交せて 12.9 円で回収できることを確認した。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O2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1本あたり15秒で切断できることを確認した。

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、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。

商用化に向けて、8mmよりも大きい電子部品の選別も一体化したAI画像認識選別システムへと改良し商用化に近い設備を試作すること、精錬方式、地域ニーズを踏まえたAI画像認識選別システムで選別する部品グループを明確化し、同グループのAI画像認識選別システムの選別率90%以上を達成することを目標に改良を行う。着火プラグ・O2センサーでは、事業化に向けてレターパックで回収できる整備工場以外の回収ネットワークの構築に必要な仕組みを明確化し、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し、リビルトエンジン企業、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可能性を検討し、回収ネットワークを拡大する。ビジネスモデルのDX化では、商用化した際に考慮しておくべきリサイクルのネットワークインフラを把握し、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・構築し、テスト工場にて実運用を行う。

## Summary

PGM is an indispensable mineral species in order to improve the performance of industrial products such as low carbon products and new functions, etc., and the required amount of PGM is expected to increase with the popularization of low carbon products, etc. On the other hand, because of the limited supply of PGM, securing PGM resources has become an important social issue. However, it is difficult to economically recover and recycle PGM contained in individual products, parts, etc. in small amounts. For example, electronic components mounted on electronic and electrical equipment are removed from used products together with electronic substrates, and high-value-added metals contained in the electronic components are extracted and purified, but some of the PGM cannot be recovered at the time of purification. In addition, in automobile parts, PGM is used for exhaust gas catalyst, ignition plug, O<sub>2</sub> sensor, etc., and it is expected to be a supply source of PGM, but a mechanism for efficient recovery and recycling has not been established except for exhaust gas catalyst.

Therefore, this project aimed at constructing a recycling system for PGM targets by introducing an AI image recognition and sorting system into the collection and recycling system for electronic substrates that has already been constructed, thereby developing a technology for sorting electronic components contained in PGM, a method for collecting ignition plugs and O<sub>2</sub> sensors that have not been individually collected, and a method for separating PGM-containing parts.

The AI image recognition and sorting system is a system that develops a mechanical mechanism for flowing electronic components in a row to a conveyor by combining general-purpose products, recognizes images of electronic components flowing on the conveyor, and sorts target electronic components by air blowing. Algorithm verification of component detection/recognition using camera-captured images was performed, and the images were learned to AI. Verification was carried out for each electronic component, and the recognition rate of IC chips, tantalum capacitors, coils, aluminum, crystal oscillators, resistors, ceramics, and chip resistors reached around 90%, and selection was possible at a high rate. When targeting PGM, we analyzed the PGM content of electronic components in order to understand which electronic components are effectively selected using this system. As a result, it was found that the chip resistor and the ceramic capacitor contained a large amount of palladium, and the tantalum capacitor contained a large amount of tantalum as the name indicates. Therefore, it was judged that it is optimal to divide the chip resistance/ceramic capacitor into the palladium target group, and the tantalum capacitor alone into the tantalum target group and other noble metal target groups. Regarding the reuse of selected electronic components, interviews were conducted with Taiwanese companies to confirm that CPUs and memories are being reused, but the market for reuse of other electronic components has not been confirmed.

For the ignition plug and O2 sensor, interviews were conducted with 6 maintenance plants nationwide, and the market size, storage, sorting, transportation method, and transportation cost were grasped. As a result, the annual generation of ignition plugs and O2 sensors were estimated to be about 2.8 million and 90,000, respectively. Regarding recoverability, it was confirmed that high-performance plugs containing iridium and platinum can be easily visually distinguished, and can be easily separated and stored in the maintenance factory. Through a pilot demonstration of collection by letter pack light conducted with the cooperation of 22 companies nationwide, it was confirmed that the median value can be collected for 12.9 yen by mixing the spark plug and O2 sensor. In the method of separating the PGM-containing part from the recovered spark plug, it was confirmed that the outer electrode containing platinum could be cut with metal spatula, and then the center electrode containing iridium could be scraped onto the powder with a metal file, and it was confirmed that the time required for each was 10 seconds/line and 50 seconds/line, and about 60 pieces could be processed per hour. On the other hand, for the O2 sensor, we developed a jig for fixing it to a small lathe, conducted a cutting experiment, and it was confirmed that each sensor can be cut in 15 seconds if you get used to processing.

In the study of DX conversion of the business model, we constructed a circulation model in which the data obtained during processing is uploaded to the cloud environment for learning at recyclers nationwide, and a sales or lease model of the AI image recognition and selection system for each business scale.

Business feasibility was examined. For electronic components, it was confirmed that selected chip resistors, thalamic capacitors, and tantalum capacitors could be sold to refiners, and it was confirmed that sales could be improved by 13% compared with the current situation by the AI image recognition component selection system. As for spark plug and O2 sensors, simple XRF analyses of the outer electrode 2.4g and the center electrode 0.2g of high-performance unit-price plugs confirmed that platinum, the target of the outer electrode, and iridium, the target of the center electrode, contained as high as 4.8% and 20.2-33.4%, respectively, and confirmed the possibility of selling them at around 20-24 yen per spark plug.

Improved to AI image recognition sorting system that integrates sorting of electronic components larger than 8mm, and prototype equipment that is close to commercialization. Clarify the part groups that will be sorted with the AI image recognition sorting system based on the refining method and local needs. Improve the AI image recognition and sorting system aiming to achieve a sorting rate of 90% or higher for this parts group.

For the ignition plug and O2 sensor, for commercialization, Clarify the necessary mechanism to establish a construction of recovery network collection other than the repair shop than can be collected by letter pack. Consider the possibility of recovery from a rebuilt engine company whose process is close to engine recycling company that focusing on hand dismantling. Expand the collection network by examining the possibility of collection from sheet metal companies

with a small amount of generation, and collaborated with rebuilt engine companies, large-scale maintenance shops and local parts dealers. Understand the network infrastructure of the recycler that should be considered when commercializing, in the DX conversion of the business model. And also, we will design and build information collection from the system introduction destination such as parts selection information and image information, labeling system of parts information to image information for AI learning, and update system of learned AI model. The designed and built system will be put into actual operation at the test factory.

# 目次

<b>I. 背景と目的</b> .....	<b>9</b>
<b>II. 事業実施内容</b> .....	<b>10</b>
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.....	10
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.....	10
1.1.1. 技術概要・実証概要.....	10
1.1.2. 機械構造の改良によるシステム安定化の検討.....	19
1.1.3. AI 構造の高度化による認識率向上の検討.....	23
1.1.4. スケールアップを想定したシステム全体の処理スピード向上の検討.....	27
1.1.5. 事業化に向けた課題・対応策.....	29
1.2. PGM 含有部位の分離装置の開発.....	31
1.2.1. 前提条件.....	31
1.2.2. 着火プラグの大量処理に向けた機械装置の開発.....	35
1.2.3. 治具の開発.....	35
1.2.4. 事業化に向けた課題・対応策.....	38
1.3. 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.....	39
1.3.1. 前提条件.....	39
1.3.2. 整備工場からの回収モデルのパイロット実証.....	43
1.3.3. エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討.....	50
1.3.4. 回収モデルの検討・構築.....	53
1.3.5. 事業化に向けた課題・対応策.....	54
1.4. ビジネスモデルの DX に関する検討.....	55
1.4.2. 事業化に向けた課題・対応策.....	58
1.5. 事業性の評価.....	59
1.5.1. 選別部品の利用用途拡大の検討.....	59
1.5.2. PGM 含有率のばらつきの検討.....	61
1.5.3. 事業採算性の評価.....	62
2. 環境影響評価.....	65
2.1. インベントリ・バウンダリの考え方.....	65
2.1.1. 着火プラグ・O <sub>2</sub> センサーのインベントリ・バウンダリ (図 66 参照).....	65
2.1.2. 電子基板のインベントリ・バウンダリ (図 67 参照).....	66
2.2. CO <sub>2</sub> 削減効果の試算.....	67
2.2.1. 着火プラグ・O <sub>2</sub> センサー (図 68 参照).....	67
2.2.2. 電子基板.....	70

3.	事業化可能性の検討.....	72
3.1.	既存技術との比較 .....	72
3.1.1.	着火プラグ・O2 センサー .....	72
3.1.2.	電子部品.....	72
3.2.	採算性の評価.....	72
3.2.1.	着火プラグ・O2 センサー .....	72
3.2.2.	電子部品.....	73
3.3.	事業化に向けた課題.....	75
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.....	75
3.3.2.	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.....	76
	ビジネスモデルの DX に関する検討 .....	77
3.3.3.	.....	77
3.3.4.	事業性の評価 .....	78
3.4.	今後の普及見通し .....	80
3.4.1.	本事業技術の将来展開イメージ .....	80
3.4.2.	普及見通し .....	80
<b>III.</b>	<b>おわりに .....</b>	<b>83</b>



## 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) 電子部品からの PGM 等貴金属の含有部品の選別・濃縮
  - ① 選別対象とする部品分類の明確化
  - ② 効果的な部品選別方法の検討
  - ③ リユース可能性の検討
- (2) 自動車部品（着火プラグ、O<sub>2</sub> センサー）の回収と PGM 含有部位の分離
  - ① 回収可能性の検討
  - ② 効果的な分離技術の検討
- (3) 事業性評価（売却可能性、事業スキーム、事業規模、収益性等）

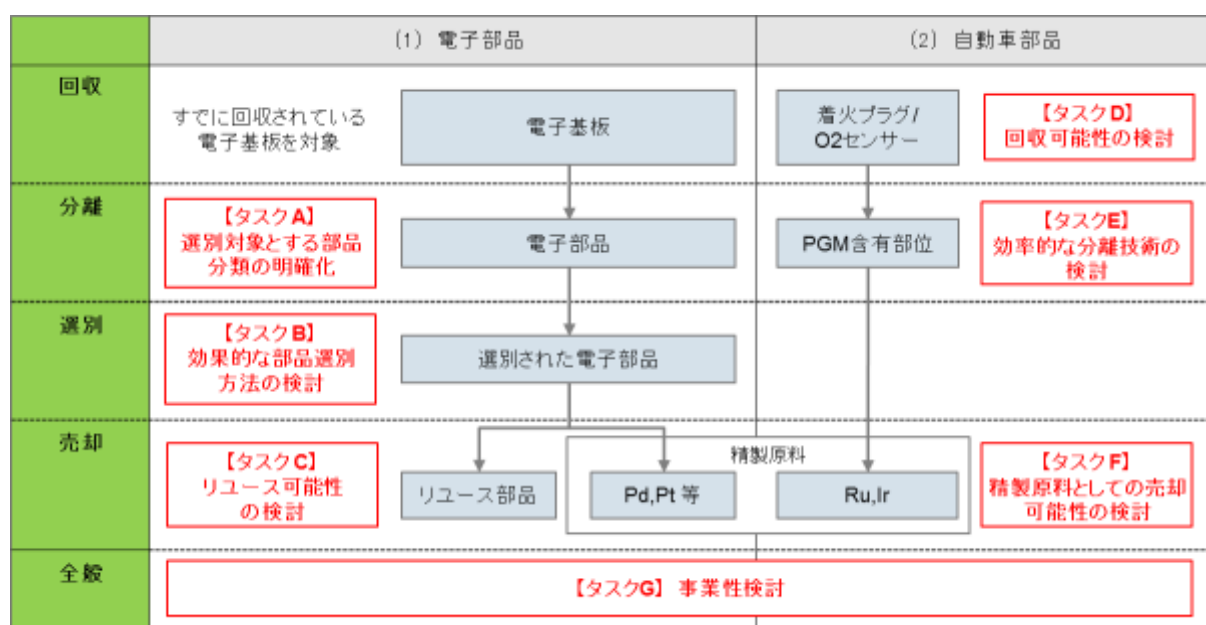


図 1 本事業の実施項目

## 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。

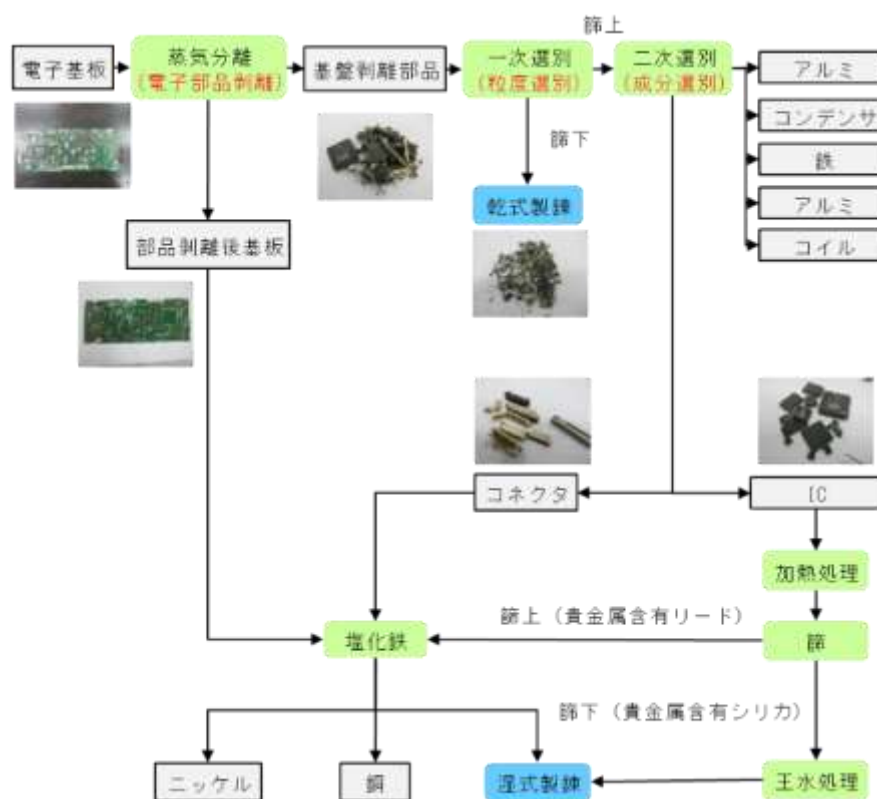


図 2 (株)アステック入江の電子基板リサイクルフロー

### (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。

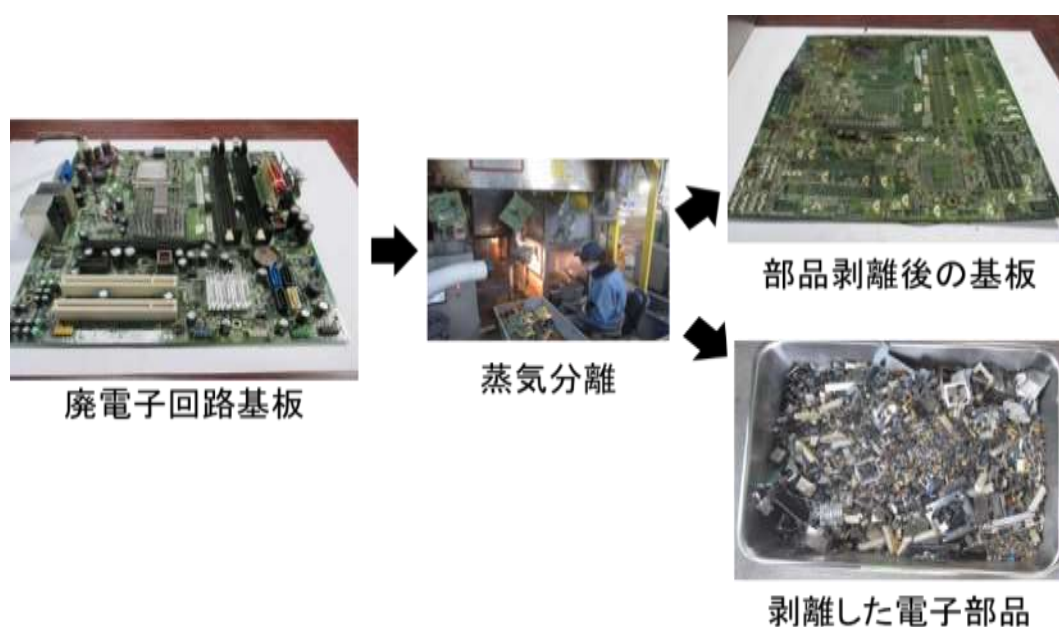


図 3 蒸気分離技術による電子部品の分離



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(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。

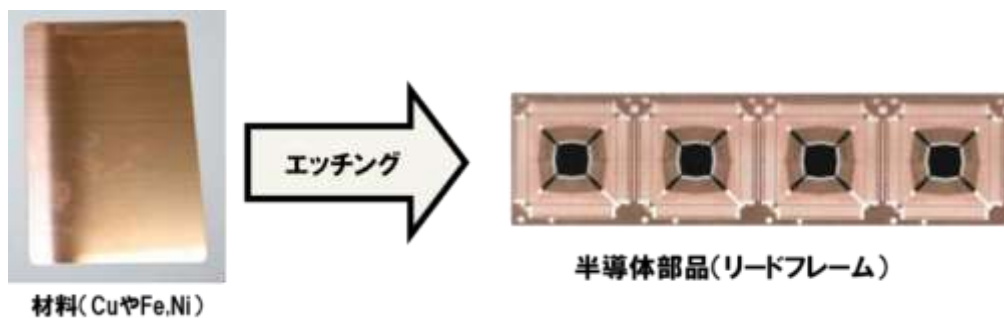


図5 半導体部品製造におけるエッチング加工における塩化鉄溶液の使用

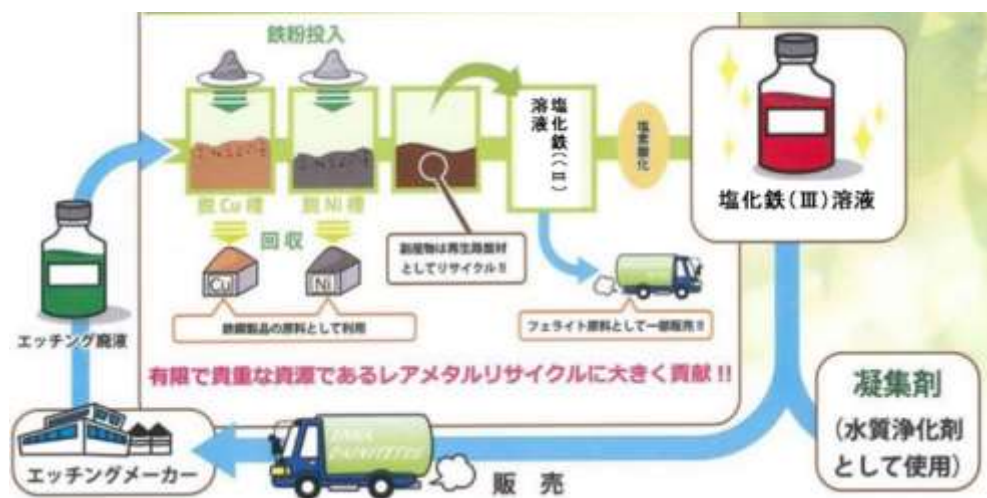


図6 エッチング廃液のリサイクルフローの概要



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、一般的なり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、一般的なり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。

一般的なりサイクルでは、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、アステック入江のりサイクルでは、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
	 <p>蒸気分離</p>
<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。

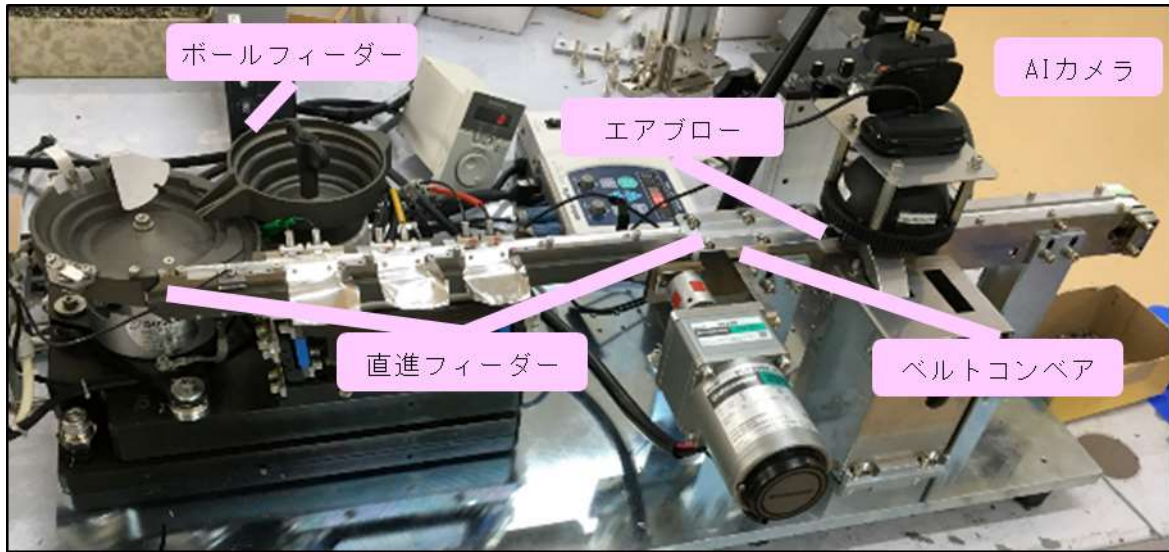


図 8 選別機の写真

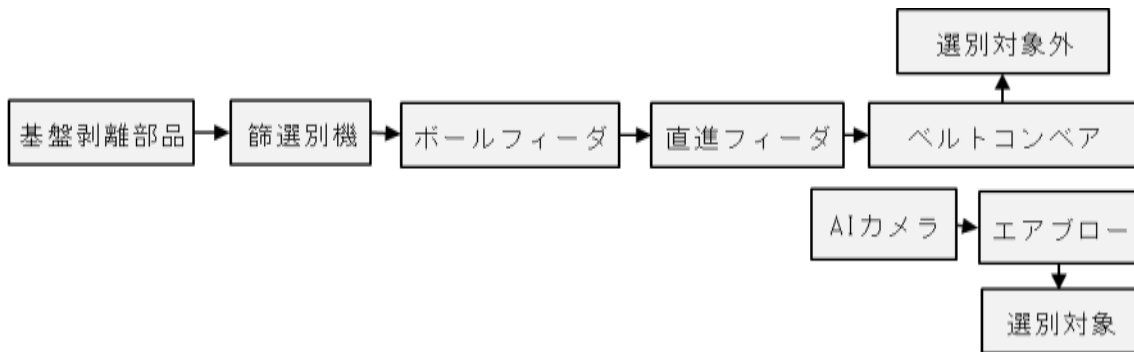


図 9 選別機による部品選別フロー

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。処理能力は0.2秒/個であった。

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。



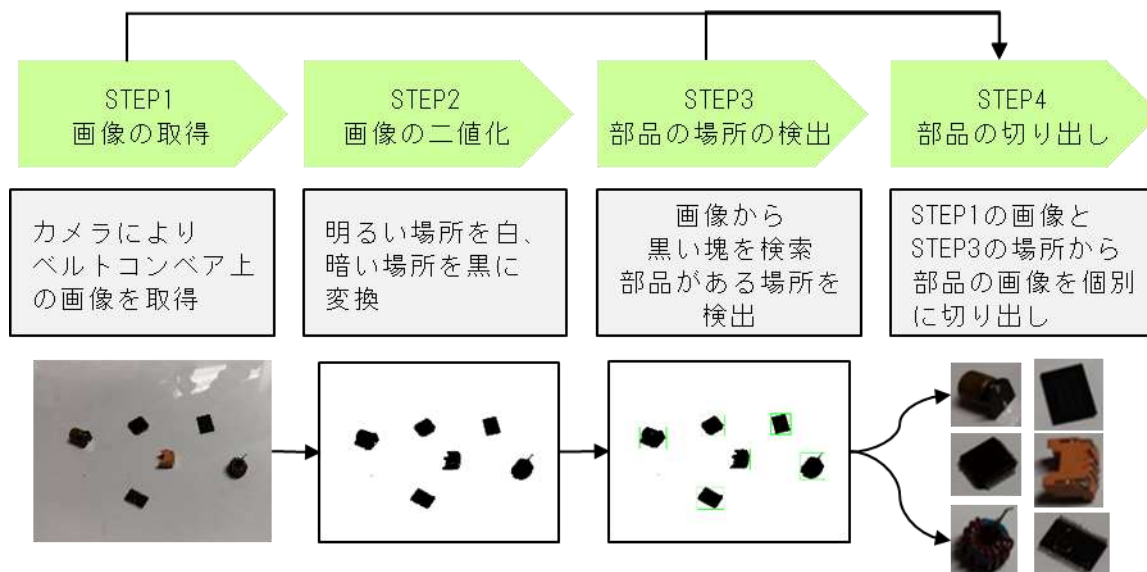


図 10 部品検出のアルゴリズム

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er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

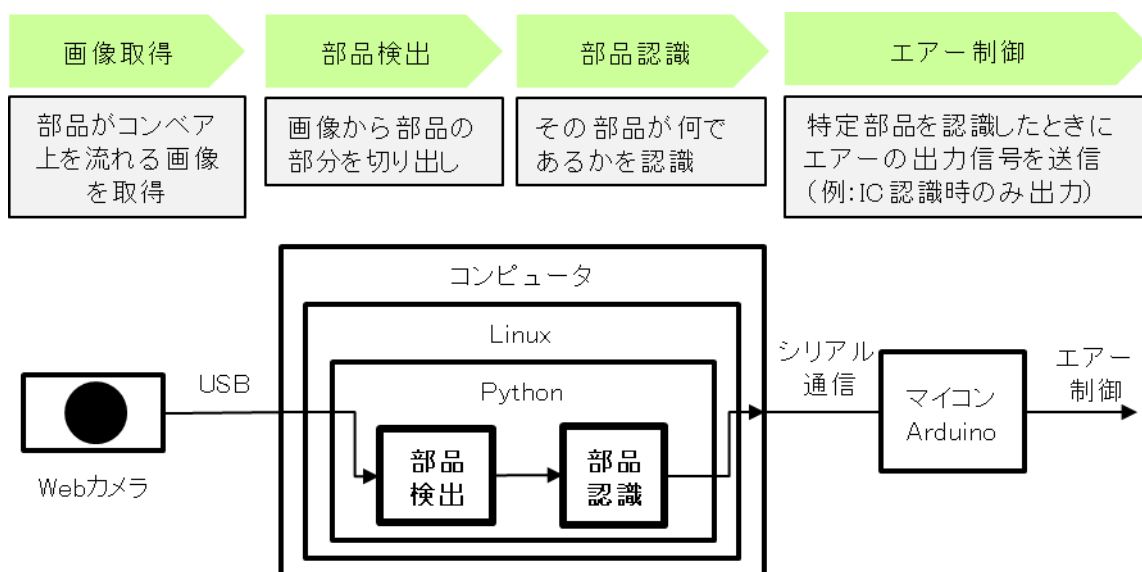


図 11 AIによる部品認識とエアブローによる部品選別

選別機と AI 画像認識システムを組合せ、部品別の選別率を検証した。IC チップ、セラミックコンデンサを対象とし、各部品をボールフィーダに投入し、AI 画像認識システムで認識した上で、エアブローにより選別できた割合を選別率として測定した。それぞれの選別率を表 3 に示す。IC チップ 71% (N=100 個)、セラミックコンデンサ 79% (N=100 個) となり、高い割合で選別できることを確認した。

表 3 AI 画像認識選別システムによる選別率

種類	サンプル No	投入数	排出数	選別率	平均
IC (大中小混 在)	1	99	76	76%	71
	2	99	67	67%	
	3	100	72	72%	
	4	100	68	68%	
	5	99	74	74%	
セラミック コンデンサ	1 (小)	100	65	65%	79
	2 (小)	100	64	64%	
	3 (中)	100	86	86%	
	4 (中)	100	88	88%	
	5 (大)	100	87	87%	
	6 (大)	100	85	85%	

事業化に向けた課題・対応は以下のとおりである。

① 幅広い電子部品に対応した選別システム構築

8mm 以上の部品は粒度が不均一であるため、別途選別システムの構築が必要であり、2mm～8mm の部品については、現状 1 種類の部品の選別に 1 つの AI カメラを必要としているが、1 つの AI カメラで複数の部品選別を行えるような装置を開発する事でコスト低減を図る。

② 大量の電子部品への対応に向けた処理能力の向上

現在は、30t/月の処理を前提としたシステムであるが、それを超える対応を迫られた時を想定した機械的改良にあたっては、AI 構造の高度化や PC の処理速度向上、カメラ解像度の向上などに関連させながら取り組んでいく必要がある。

③ 対象部品拡大と画像認識・選別率の向上

試作段階では Web カメラを使っているため解像度が低く、AI の認識率低下につながっている。解像度の向上が必要であり、そのために高コスト化につながる懸念もある。

④ AI 構造の高度化

畳み込み層の層数を増やすなど AI 構造をより高度化することが必要である。

⑤ PC 処理速度の向上

カメラ解像度、AI 構造の高度化に対応した PC 処理速度向上

⑥ デジタルトランスフォーメーション (DX) 対応を意識したシステム構成の検討

今後、事業が波及し、選別システムの入口・出口のビッグデータを活用したリサイクル事業のデジタルトランスフォーメーション (DX) 化を想定し、システムのエッジコンピューティング化を検討していく。

(3) リユース可能性の検討

海外バイヤー (台湾企業他) へのヒアリングを実施し、CPU やメモリはリユース市場があ

ることを確認した。しかしながら、本事業で対象としているようなタンタルコンデンサについては、リユースされている情報を得ることができなかった。引き続き、台湾企業等へのヒアリングを通じてリユース要件の調査を行っていく。

### 3) 実証概要

前述の通り、昨年度は昨年度 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、電子部品の篩選別後にフィーダに投入する機械構造を篩選別とフィーダを一体化するとともに、各電子部品が塊にならないように改善すること。

#### (2) AI 構造の高度化による認識率向上の検討

解像度の高いカメラの適用、畳み込み層の層数を増やすなど AI 構造を高度化し、多様な電子部品における特定部品の AI による画像認識率を向上すること。

#### (3) スケールアップを想定したシステム全体の処理スピード向上の検討

大量の電子部品及びシステムの横展開に向け、複数処理、PC の処理速度向上、コンベアスピードの向上により処理スピードの向上を検討すること。

### 1.1.2. 機械構造の改良によるシステム安定化の検討

昨年度の試作機では、電子部品が塊になり、画像認識用のカメラの下にひとつずつ流れてくるのが理想的な電子部品が、塊となり流れてくるときがあるという課題があった。今年度は、この課題を解消した試作機を制作した（図 12）。電子部品の投入から選別までのフローは昨年度と同じである。電子部品はボールフィーダに投入された後、振動により外周を回りながら直進フィーダへと搬入される。直進フィーダ上でも部品は振動により前進していき、コンベアへと搬入される。コンベア上を流れる部品は 1 台のカメラにより画像認識され、AI により識別された後、エアブローにより選別される。ここで、エアブローおよびエアブローにより飛ばされる格納先のコンテナは 8 基ずつ用意した。以下、今年度の具体的な改良点について記載する。



図 12 AI 画像認識選別システム全体図

### 1) ボールフィーダの改良点

ボールフィーダは、電子部品が最初に投入される構成部品である。下部の振動体から発生する振動により、部品は上部ボールのらせん状になっている外周に沿うようにして回りながら上昇していく。ボールの途中で備えられた図 13 のエアブローにより、塊となった部品は吹き飛ばされ、ボールの底部まで落下した後、底部から再度上昇していく。こうして、塊のまま搬送されることを防ぐように改良した。また、ボールフィーダのエアブローの先には、図 14 に示すらせん状になっている外周の幅を手動にて調整する機器があり、部品の粒度に合わせて可変調節し、搬送する量を調整できるようにした。



図 13 ボールフィーダのエアブロー

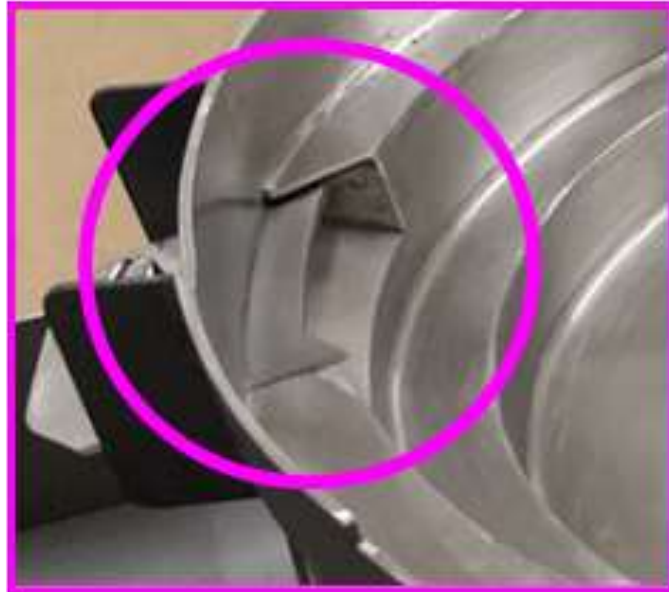


図 14 ボールフィーダの幅調整器

## 2) 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。図 15 に示すように、搬入時および搬送時の部材の継ぎ目に段差を作らないことで、部品が重なり合うことを防ぐように改良した。さらに、丸溝であった直進フィーダの形状を、図 16 に示す通り V 字形の溝にすることで、部品同士が横並びになることを防ぐように改良した。



図 15 直進フィーダ始端および終端の継ぎ目



図 16 直進フィーダのV字形溝

### 3) 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。ここでは、図 17 に示すように、直進フィーダの搬送スピードよりもコンベアスピードを速くすることで部品同士の搬送間隔を広げ、ひとつずつカメラ下まで搬送するようになった。

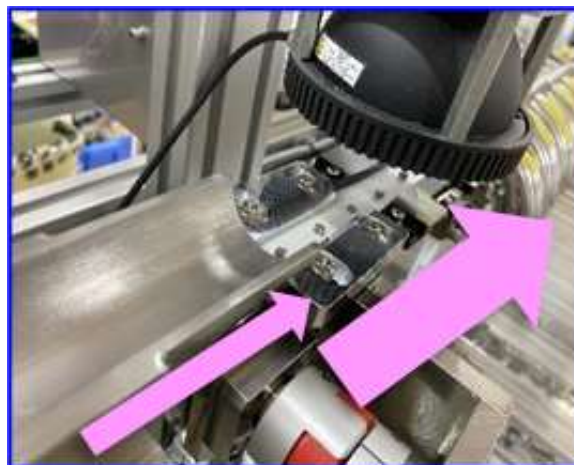


図 17 直進フィーダとコンベアのスピード差

### 4) 篩選別と AI 画像認識選別システムの一体化

図 12 の AI 画像認識選別システムは、部品を篩選別した後に投入し選別するものであるが、商用化の際には図 18 に示す篩選別と一体化したシステムを想定している。傾斜のついた坂には、上部から篩の目が細かいものから粗いものになるように篩があり、大小混ざった状態で投入された部品は小さいものから篩選別されていき、篩選別後は先述の AI 画像認識選別システムによりそれぞれ選別されていく仕組みである。

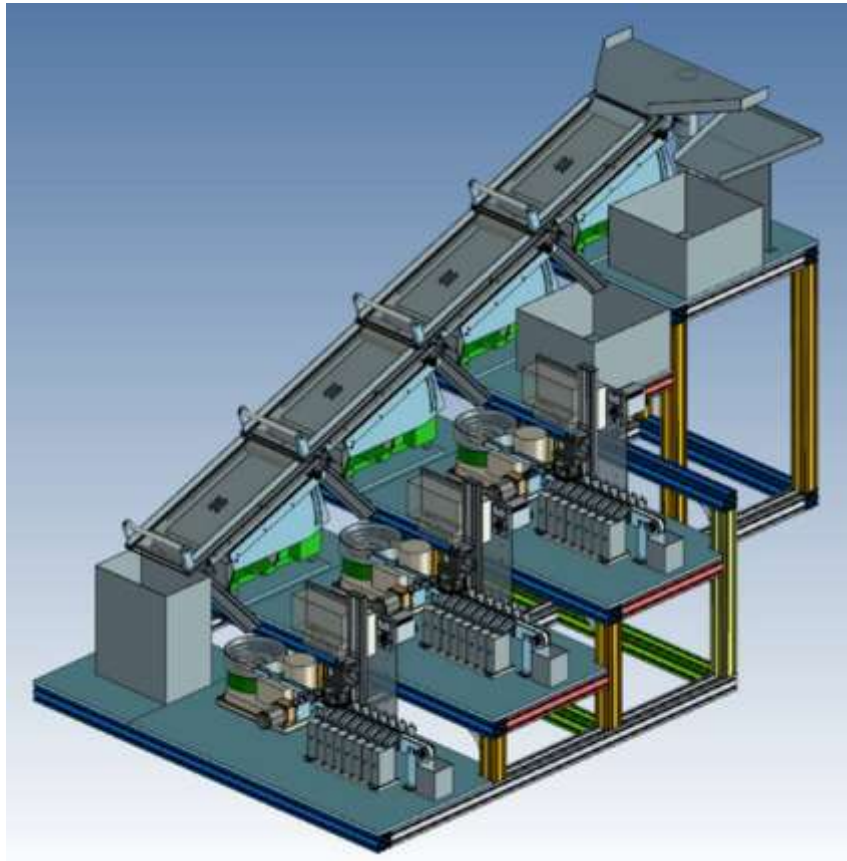


図 18 篩選別と一体化した AI 画像認識選別システム案

### 1.1.3. AI 構造の高度化による認識率向上の検討

昨年度昨年度の選別率は、IC チップ 71% (N=100 個)、セラミックコンデンサ 79% (N=100 個) と高い割合であった。一方で、精錬工程への引き渡し条件では、パラジウム濃度が 1,000g/t 以上であることや、タンタルはタンタルコンデンサに他の電子部品が混入しないことが求められている。これらの厳しい取引条件を満たすためには更なる選別の向上が必要であるため、次の改良を行った。

#### 1) 高解像度カメラの使用

AI による画像認識の選別率を向上するには、部品をカメラで撮影した画像の高解像度化が不可欠である。また、システム全体の処理スピード向上のためにも高フレームレートに対応したものが望ましい。そこで、昨年度の試作機で使用していた 30fps の Web カメラから、300fps の産業用カメラを使用することにした。Web カメラと産業用カメラでそれぞれ撮影した部品の比較を図 19 に示す。比較の通り、昨年度より高解像度の画像が取得できるようになり、コンベアの高速化にも対応した。

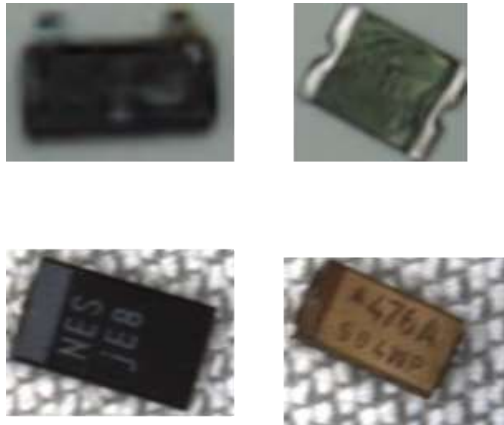


図 19 Web カメラで撮影した部品（上）と産業用カメラで撮影した部品（下）

## 2) AI 構造の高度化

一般的に、画像認識の畳み込みニューラルネットワークは、畳み込みの層数が大きくなるほど認識の精度は向上するが、計算量も大きくなり、処理に時間を要するようになる。昨年度は AlexNet という 8 層のアーキテクチャを用いていたが、選別率向上のため、VGG16 という 16 層のアーキテクチャを使用することにした。これに伴う計算量の増加に対しては、無駄な処理のカットや処理の順番最適化等のプログラム最適化により、処理速度を維持した。

また、カメラで撮影した部品の面や方向によらず対応・選別できるようにした。昨年度昨年度は 4 種類の対象部品に対し 4 クラスの分類を用意していたが、8 種類 138 クラスに拡大した。図 20 は拡大したクラスと選別の例である。水晶振動子を例にとり説明すると、これまでは「水晶振動子」の 1 クラスのみ用意し、それに当てはまるようであれば水晶振動子として選別していた。しかし、水晶振動子を表面、裏面、側面からそれぞれ撮影したときの映り方は全く異なり、これらを同様のクラスとして学習させることは困難であった。そこで、「水晶振動子-裏面」、「水晶振動子-表面」、「水晶振動子-側面」といった具合に、1 つの部品について撮影面によって異なるクラスを用意し、学習容易性を向上させた。そして、画像認識によりこれらのクラスに分類されると推量されたとき、いずれの場合も水晶振動子に対応したエアブローを制御することで、水晶振動子として選別できるようにした。

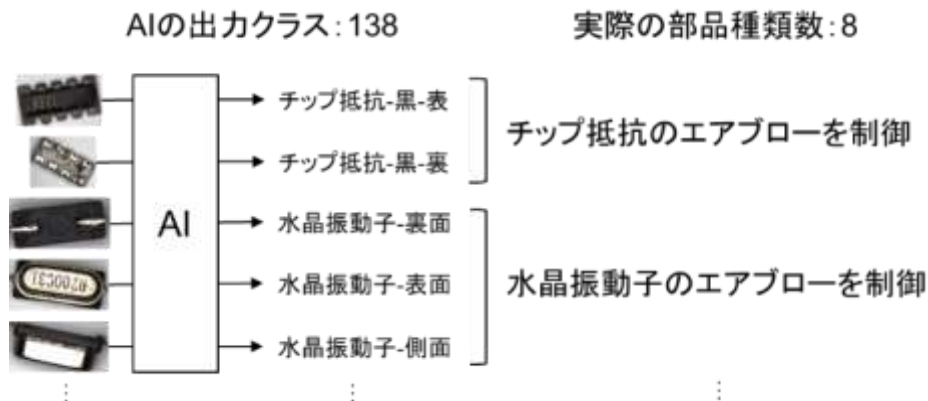


図 20 AI 画像認識選別時のクラス分類例



### 3) 高速処理に伴う工学条件の見直し

コンベアを高速化させたときに合わせ、カメラで撮影した画像がブレないように設定を以下のように改善した。

- ・ シャッタースピード 2000  $\mu$ s  $\rightarrow$  100  $\mu$ s
- ・ レンズ絞り F16  $\rightarrow$  F4
- ・ 照明ボリューム 100 Lm  $\rightarrow$  200 Lm

設定変更前と変更後の比較画像を図 21 に示す。設定変更前の撮影画像（左）と比較して、変更後の撮影画像（右）はブレが抑えられ、鮮明な画像が取得できていることがわかる。

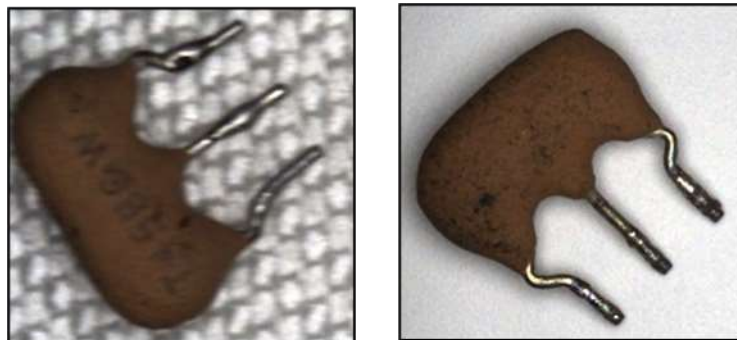


図 21 カメラ撮影条件の変更前（左）と変更後（右）の撮影画像

### 4) コンベア汚れによる選別率低下の改善

部品搬送時にコンベアのベルトに汚れが付着した場合、その汚れをカメラが部品であると誤認識してしまうことがある。誤認識を防ぐために、定期的に汚れを拭き取りメンテナンスする必要がある。当初は、表面がエンボス加工された凹凸のあるベルトを使用していたが、凹凸のため拭き取りづらいため、凹凸がなくメンテナンスしやすいベルトに変更した。



図 22 ベルト変更前（左）と変更後（右）

## 5) 選別率と未認識率

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、前述の 1.1.2 および 1.1.3 の改良を施した試作機にて、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 23 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。

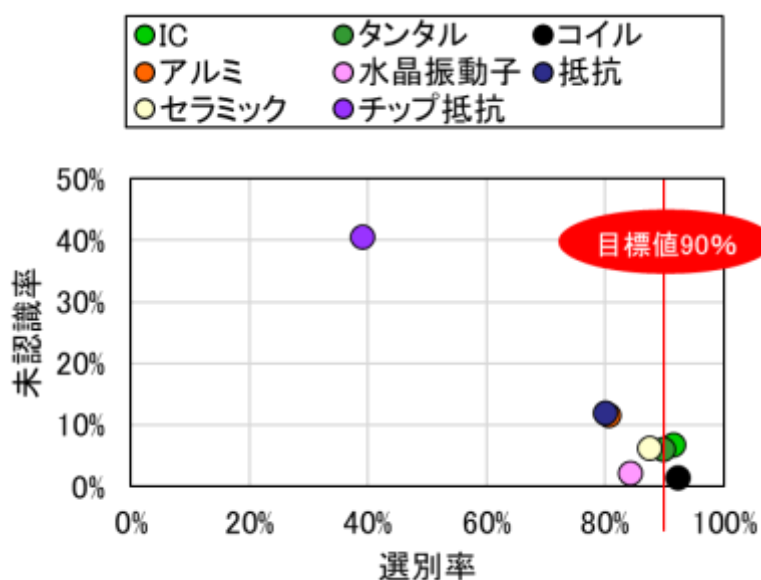


図 23 選別率テスト結果

## 6) 混入率

AI 画像認識選別システムにより認識はしたが、ターゲットとは異なるコンテナ混入する電子部品の割合を「混入率」と定義し、評価した。評価結果は図 24 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。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。なお、タンタルコンデンサについても、他部品が混入していても取引できる業者と条件を調整中である。

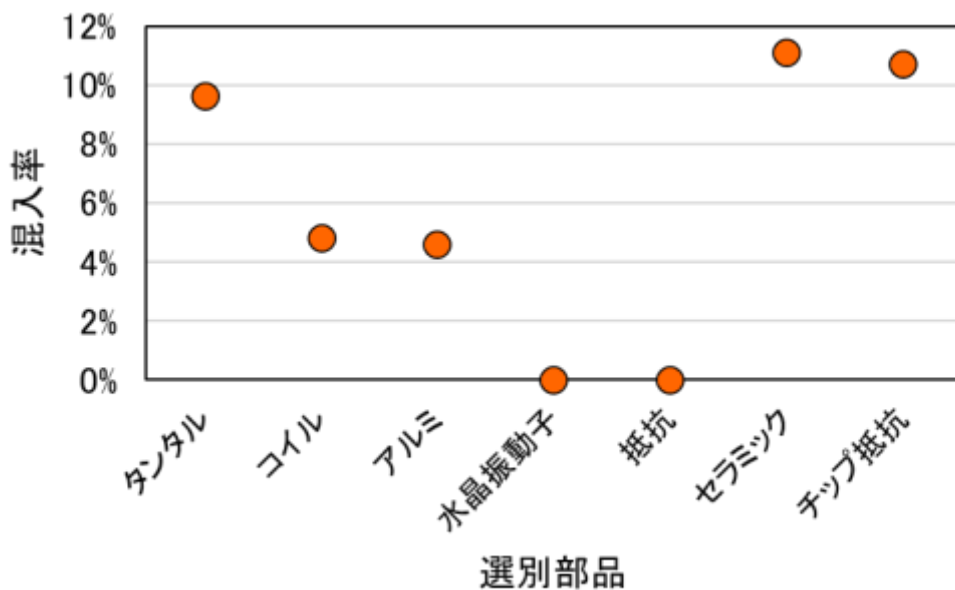


図 24 混入率

#### 1.1.4. スケールアップを想定したシステム全体の処理スピード向上の検討

昨年度は、アステック入江の処理規模である月間 30 トンの電子部品の選別を想定した処理能力 0.2 秒/個を達成したが、より大規模な事業者における利用も想定される。そこで、処理能力 0.1 秒/個を目標とし、認識部品数の拡大を含めた以下の改良を行った。

##### 1) 新型エアブローによる複数処理

昨年度はエアブローとコンテナが 1 対のみであり、一度に単一のターゲット部品のみしか処理できなかった。今年度はエアブローとコンテナを 8 対ずつ設置することにより同時に 8 種類のターゲット部品に対応できるようにした。



図 25 新型エアブロー

## 2) 認識部品数の拡大

昨年度は、IC、コイル、コンデンサ、抵抗の4種類をターゲット部品としていたが、今年度はIC、コンデンサ各種、水晶振動子、チップ抵抗の8種類の部品をターゲットとし、選別できるようにAIに学習させた。



図 26 8種類の認識部品

## 3) コンベアスピードの向上

大量処理に向けたコンベアスピード向上のため、コンベアを自動的に制御するPLCプログラムを変更し、コンベアスピードを0.1秒/個で選別できるスピードである500mm/sまで制御できるようにした。図27はコンベアスピード500mm/sで動作させたときのカウンターの表示である。「速度設定が500」は500mm/sでコンベアが動作していることを表す。「現在位置」は、モータの現在位置とコンベアの位置情報をそれぞれ示すものであるが、これらが一致していれば、制御できていることを意味する。



図 27 コンベアスピード 500mm/s 設定時のカウンター

#### 4) エアブロー応答スピードの向上

コンベアのスPEEDを向上させた場合、そのSPEEDに対応できるように、その他の構成部品の応答SPEEDを連動して向上させる必要がある。そこで、選別用エアブローを制御する電磁弁の応答SPEEDを向上させた。図 28 は変更前のエアブロー電磁弁であり、図 29 は変更後のエアブロー電磁弁である。電磁弁を高速タイプのものに変更するとともに、配管を短くすることで信号経路を短くし、高速化させた。



図 28 変更前の選別用エアブロー電磁弁

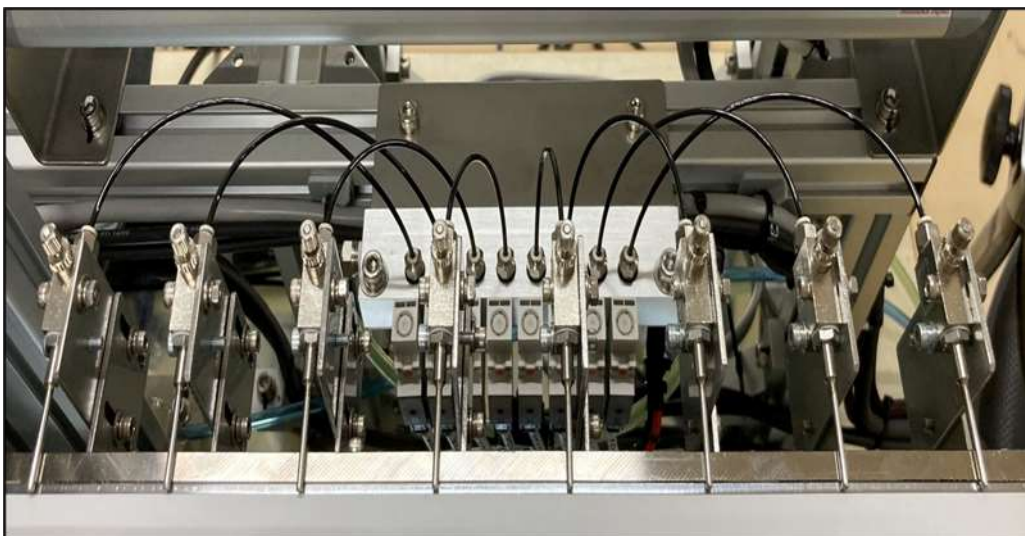


図 29 変更後の選別用エアブロー電磁弁

#### 1.1.5. 事業化に向けた課題・対応策

##### 1) 8mm よりも大きな電子部品への対応

前年度から本年度にかけ、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SPEED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

本事業で 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。

## 1.2. PGM 含有部位の分離装置の開発

### 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 4 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 30 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 4 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	○	○

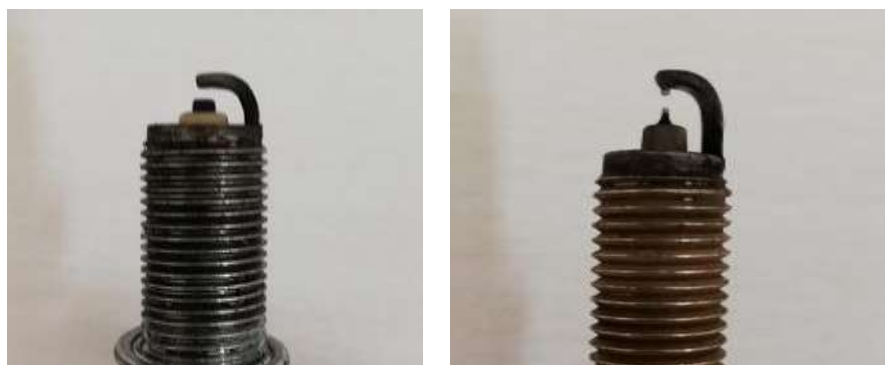


図 30 通常プラグ（左）と長寿命プラグ（右）

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31に示すようになった。



図 31 分離後の外側電極（左）と中心電極（右）

図31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32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、O<sub>2</sub> 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。

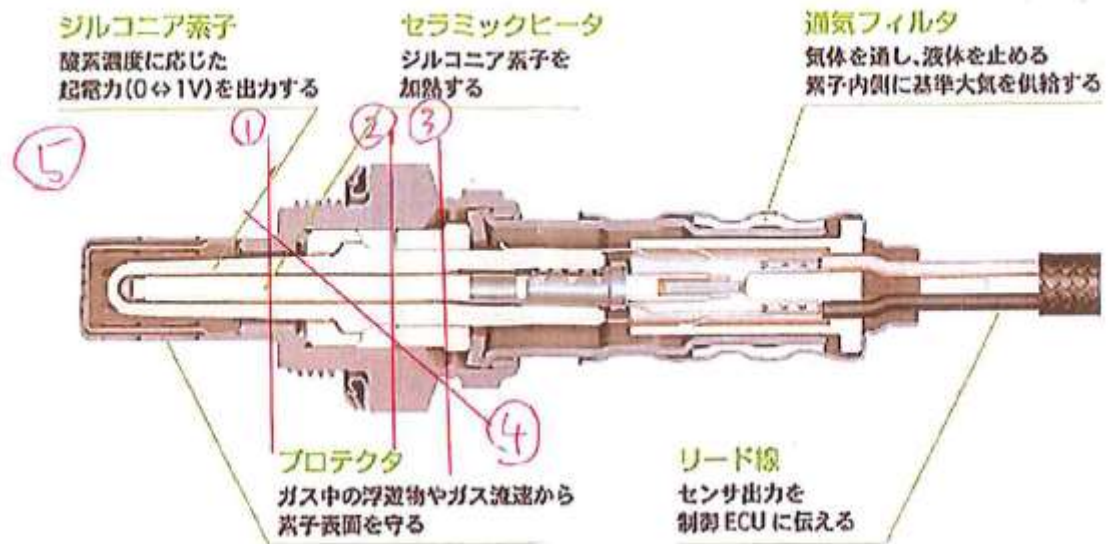


図 32 プラチナをターゲットとした場合の O<sub>2</sub> センサーの切断箇所

O<sub>2</sub> 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、①ウォータージェットによる物理的切断、②塩化鉄（Ⅲ）による化学的な分離、③高速回転切断機による物理的な分離方法の 3 つの方法を試みた。①は O<sub>2</sub> センサー 1 個の切断につき 90 秒を要し、同時に複数本切断等の効率化も難しい。また、設備が大掛かりであり導入が難しく、外部機関に依頼すると 1 個あたり 1,500 円と高額なことから経済的でないことがわかった。②は O<sub>2</sub> センサー外部の金属部分を腐食させることによって除去する方法であるが、金属部分の完全除去までに 3 日を要するうえに作業環境も必要となる。③では O<sub>2</sub> センサー 1 個を切断するのに 30 秒を要したが、20 個の切断で砥石を使い切ってしまった。1 個当たりの切断コストは約 60 円であった。

試みた方法の中では、③高速回転切断機による物理的な分離方法が設備の調達容易性と切断に要する時間から最も利用可能性があった。



図 33 高速回転機での切断風景

分離した O<sub>2</sub> センサーを ICP 分析にかけた結果、PGM 含有部位（セラミック製）に塗布されているプラチナの含有率は 0.64%であることがわかった。

事業化に向けた課題・対応策は以下のとおりである。

① 効率的に切断できる高速回転切断機向け治具開発

高速回転切断機で PMG 含有部位を分離できることは確認済みだが、効率的に切断するための開発が必要である。現在の想定では、「安全」及び「効率」を両立するために半円形の台に O<sub>2</sub> センサーをねじ込み、一度に 10 本セットできる治具の開発を想定する。

### 3) 実証概要

昨年度は、着火プラグ、O<sub>2</sub> センサーの PGM 含有部位の分離について、着火プラグは工具を使った手作業で分離できることを確認し、O<sub>2</sub> センサーは高速回転機で分離できることを確認した。事業採算性の向上に向け、より効率的、省エネかつ安全性の高い分離手段の検討を行った。

#### (1) 着火プラグの大量処理に向けた機械装置の開発

昨年度は、着火プラグの PGM 含有部位の分離を工具を用いた手作業で行った。電動回転式のヤスリを活用し、中心電極からイリジウムを効率的に分離・回収する半自動の回収装置を開発する。

#### (2) 治具の開発

昨年度昨年度試みた O<sub>2</sub> センサー切断方法の中で、処理の速さと導入の容易性では高速回転機が優れていることがわかったが、事業採算性の向上のためには 1 本あたりの処理コストを下げ、処理スピードを向上させることが不可欠であることを把握した。そこで、「安全」「効率」「省エネ」を考慮しつつ、O<sub>2</sub> センサーから PGM 含有部位を効率的に取り出すための治具を開発する。

### 1.2.2. 着火プラグの大量処理に向けた機械装置の開発

昨年度は昨年度、着火プラグの外側電極を金属バサミで切断分離でき、中心電極をステンレスヤスリで削り、手作業で分離できることがわかった。分離にそれぞれ要する時間は、外側電極が約 10 秒、中心電極が約 50 秒であった。中心電極を削る作業が時間的にも労力的にも大きな割合を占めていたことから、機械装置を利用した削り作業を導入し、大量処理化に向けた処理の高速化及び省力化を検討した。

旋盤を利用した切削を検討したが、作業時間の短縮に繋がらず、手作業で行った方が容易であることがわかった。引き続き旋盤以外の半自動化手段の検討をし、高速化と省力化を進めていく。

### 1.2.3. 治具の開発

#### 1) 旋盤用治具の開発

O2 センサーから PGM 含有部位を効率的に取り出すための治具を開発した。昨年度で分離を試みた方法のうち、最も利用可能性が高いと判断されたのは高速回転機であった。しかし、20 本程度切断すると砥石が消耗してしまい、1 本あたりの切断コストは約 60 円かかっていた。事業採算性向上のための低コスト化、効率化のため、旋盤を使用した切断装置の検討をした。

本事業では株式会社東洋アソシエイツ製「万能精密旋盤 Compact7」という小型の旋盤装置を使用した。図 34 に示す通り、テーブルに設置して使用できるサイズであり、本体価格も 115,000 円と比較的安価で導入しやすい。

図 35 に示す三つづめチャックで材料を固定・回転させ、ハンドルで刃物を接近させることで切断する。しかし、O2 センサーの場合、凹凸のため固定の安定性に欠ける問題が生じた。そこで、三つづめチャックに O2 センサーを安定的に固定させ、かつ固定に要する時間を短縮させるための治具を開発することとした。

治具の開発にあたり、O2 センサーのネジ規格が統一されている点に着目した。メーカーや型番が異なってもネジ径は同じであるから、それを受ける雌ネジを備えた治具にネジを回して差し込めば安定的に固定できるはずである。図 36 は開発した治具である。凸形の形状の中心を貫通するように O2 センサーを固定するための雌ネジがあり、外周は三つづめチャックに固定しやすい円形とした。こうして開発した治具を三つづめチャックに挟み固定すると図 37 のようになる。治具は凹凸が干渉することなく安定的に固定され、O2 センサーを付け替える際には三つづめチャックを緩めることなく雌ネジに回転させて入れればよいことから、作業時間の短縮にも繋がった。

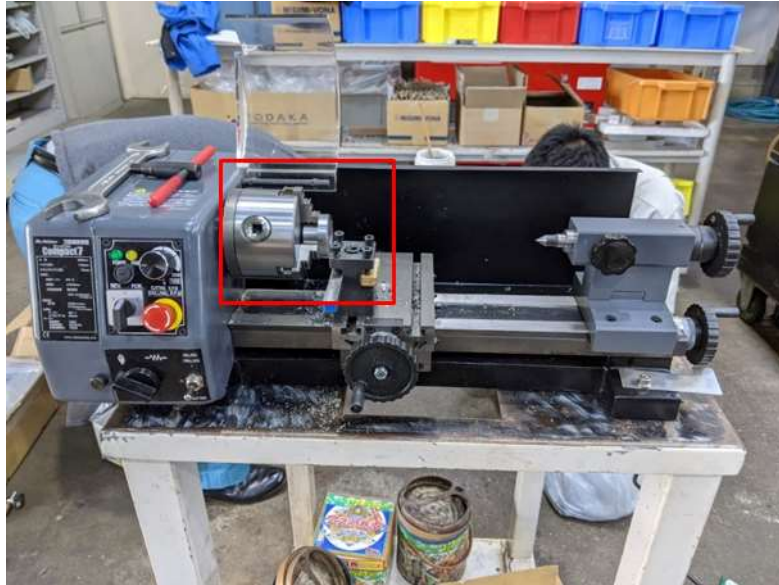


図 34 小型旋盤（万能精密旋盤 Compact7）



図 35 三つづめチャック



図 36 O2 センサー固定用治具



図 37 三つづめチャックに治具を固定した様子

## 2) 治具を使った旋盤での切断分離

治具に O2 センサーのネジ部分を回して固定し、旋盤を回転させた状態で、O2 センサーの切断箇所を刃物をハンドルで接触させて切断した。切断の状況は図 38 のとおりである。刃物の損耗を低減させるために、油をさしながら行っている。切断に要する時間は 1 本あたり 1 分 30 秒であったが、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 38 旋盤を使った O2 センサー切断の状況

旋盤で切断すると、O2 センサーは図 39 のように分離できた。ターゲット元素のプラチナが塗布されているセラミック部分は、図中左部品の芯である。この芯は人手で容易に引き抜けることも確認できている。



図 39 切断後の O2 センサー

#### 1.2.4. 事業化に向けた課題・対応策

##### 1) 着火プラグの効率的な分離方法の検討

着火プラグのイリジウムを含む中心電極の分離に旋盤を用いて半自動的に削る方法を検討したが、分離に要する時間の短縮には至らなかった。引き続き効率、省エネ、安全性を考慮した分離方法を検討する。

## 1.3. 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

### 1.3.1. 前提条件

#### 1) 昨年度までの成果概要

##### (1) 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。また、解体工場との連携についても考慮した。

全国 6 社の自動車整備工場へのヒアリング結果を表 5 に示す。着火プラグ・O2 センサーは分別回収されておらず、雑品として売却されていた。そこで、雑品として処理せずに、着火プラグ・O2 センサーを整備工場にて分別し、どのようにそれらを回収できるのか整備工場にヒアリングを実施した。以上のヒアリング結果から以下のことがわかった。

##### ① 着火プラグの発生量

車検・整備台数の概ね 5%程度で着火プラグの交換が行われている（着火プラグ本数は 1 台あたり 3~4 本程度）。今回ヒアリング調査した工場では車検・整備台数が月に 300~400 台規模のため、1 工場から月に 40~50 本程度発生している。札幌のエリアでは交換比率が 15%程度と高く、これは融雪剤による腐食が発生するためであり、地域性の違いを確認した。同じ北海道でも旭川では他エリアと同様の 5%程度であり、融雪剤の散布が多いか否かにより交換比率が異なることも確認した。

##### ② O2・A/F センサーの発生量

当初、車検・整備において O2 センサーの発生を想定していたが、車検・整備において O2 センサーを交換するケースは稀であることを確認している。

一方で、想定していなかった板金修理において、軽自動車のフロント事故において O2 センサーの交換が発生していることを確認した。

##### ③ 回収方法

O2 センサー、着火プラグともにペール缶などに分けた保管を整備工場に依頼することは容易であることを確認した。また、一定量が溜まってから宅配便等で指定場所に送付してもらうことも容易であることを確認できたことから、両対象物を回収することは実現性が高い。

さらに、着火プラグについて、高性能・長寿命プラグと通常プラグの判別は容易にできることを確認している。

##### ④ 取引要件

着火プラグ、O2・A/F センサーともに、鉄系の資源として業者に売却をされているのが現状であるが、当該部品の重量が小さいため、別途回収とした場合に望まれる買取金額は高くない。例えば、「1 本 10 円程度」、「業界の会議費の足しになる程度」、「環境活動としての意義があれば集める」というレベル感である。

表 5 全国の自動車整備工場へのヒアリング結果

エリア	着火プラグの発生量	O2・A/F センサーの発生量	分別回収の可能性
九州	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検時の交換対象部品としてユーザーに推奨するが、交換しなくても車検が不合格とならない</li> <li>・推奨したユーザーの 5%程度しか交換せず、月に 20~30 個の発生量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・エンジンチェックランプの点灯により不具合(車検不合格)の発生有無を把握するのが一般的</li> <li>・車検台数は年間 3,000~4,000 台に対して月に 2~3 個の発生量</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易にでき、ペール缶等に分けて保管できる</li> <li>・1本10円などの買取価格にし、社会貢献の点を強く押し出すなど工夫が必要ではないか</li> </ul>
首都圏	<ul style="list-style-type: none"> <li>・九州エリアと同じ</li> <li>・リース車両は交換目安の走行距離タイミングで必ず交換するので、一般ユーザーよりも発生個数が多い可能性あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・チェックランプ点灯時以外の交換はなく、O2センサー・A/F センサーは整備からの発生はほとんどないと考えたほうがいい</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易にでき、分別保管は手間にならないので、分別回収するなら協力する</li> <li>・他の部品もあわせて回収したらどうか</li> </ul>
東北	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検時の交換対象部品としてユーザーには推奨するが、交換しなくても車検において不合格とならないため、推奨したユーザーの 5~10%程度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検時の交換はほとんどないが、レッカー移動で入ってくる車両は交換があり、月に 10 個程度</li> <li>・軽自動車のフロント事故は交換が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易に可能</li> <li>・自動車車体整備協同組合と連携するなど普及啓発及び回収のインセンティブを検討してはどうか</li> </ul>
関西	<ul style="list-style-type: none"> <li>・7~8 万 km の走行距離で交換を推奨しており、車検・整備台数の 5~6%程度が交換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・交換しなくても走行に影響しないため、発生個数は月 1 個程度</li> <li>・板金台数は年間 350 台程度であるが、そのうち 10~15 台程度で交換が発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易にでき、有価で買い取るのであれば協力する会社は多いのではないか</li> <li>・他の部品もあわせて回収したらどうか</li> </ul>
札幌	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検・整備台数の 15%程度で交換が発生しているが、車歴 13 年以上が 30~40%程度あり、その分は通常プラグの可能性あり</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検・整備台数の 10%程度で 2 本交換しており、融雪剤による腐食が理由</li> <li>・板金もフロント事故では 1 本の交換が発生</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易にできる</li> </ul>
旭川	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検・整備台数は月間 500~600 台で 80 本程度を交換</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・車検・整備ではほぼない</li> <li>・軽自動車のフロント事故は交換が多い</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・イリジウムプラグの判別は容易にでき、レターパックなどでの配送が可能</li> </ul>



ヒアリングの結果から、着火プラグは、「ガソリン自動車の車検・整備台数の5%」から発生し、1台あたりの着火プラグの交換個数は3個と想定できる。また、O2センサーは「車検・整備台数の1%」でO2センサーが交換されると想定でき、その他軽自動車のフロント事故においてO2センサーの交換が発生していることがわかった。以上の想定と車検・整備台数及び軽自動車の事故件数をもとに着火プラグ及びO2センサーの年間発生個数を試算し、図40 着火プラグ・O2センサーの市場規模の推定にまとめた。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。

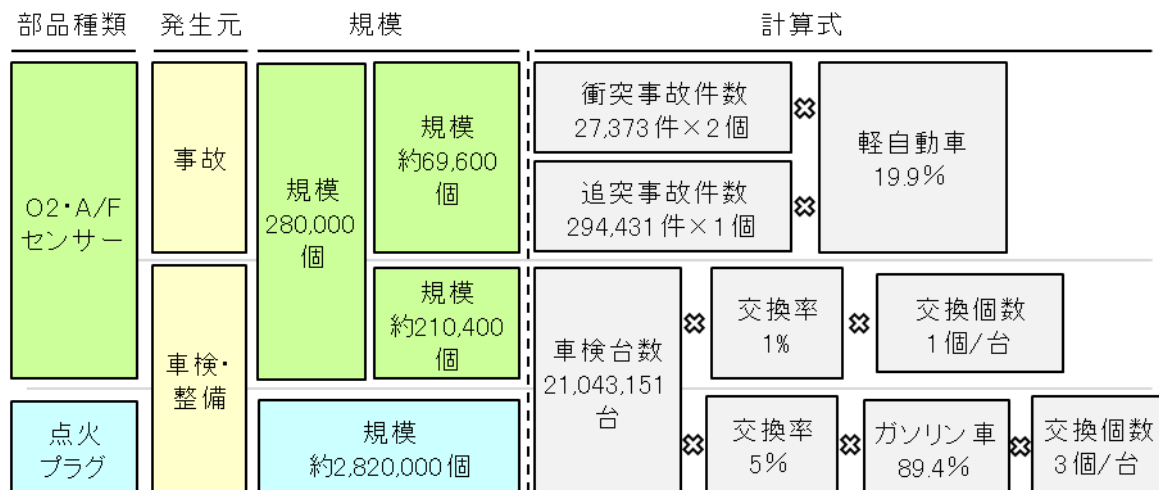


図40 着火プラグ・O2センサーの市場規模の推定

ヒアリングの結果から、整備工場において高性能・長寿命の着火プラグ、O2センサーを分別して保管できることがわかった。具体的には、整備工場自身で高性能・長寿命の着火プラグと通常プラグの見分け方を知っており、ペール缶に取り外した段階で仕分けすることができる。このペール缶に一定量が溜まってから指定場所に配送してもらえることも確認している。そこで、①ターゲットとする部品は整備工場にて発生段階で分別保管すること、②一定量溜まった段階で整備工場から指定場所に配送してもらうことを回収の基本的な方針とした。配送方法は、さまざまな企業のサービスがあるが、本事業でターゲットにしている着火プラグ・O2センサーは全国の整備工場からの回収を想定していることから、全国一律料金かつ安価である配送方法としてレターパックライトでの回収を検討することにした。

レターパックライトに着火プラグを満杯に詰めた場合の輸送コストは1本あたり6.2円となる。また、O2センサーが満杯にならない程度の30本を想定した場合、輸送コストは1本あたり12.3円となる。

解体工場との連携可能性調査のため、ヒアリングを実施した。ヒアリング結果から、着火プラグはエンジンから取り外せる可能性があるが、使用済み自動車から降ろされたエンジンは、エンジンリサイクル工場やリビルトエンジン工場に着火プラグをつけたまま売却するため、取り外しができないことがわかった。一方、O2センサーは、月間の解体台数800~1,000台に対して、月間200~300個回収されており、台湾のバイヤーに1個あたり100円で売却されていることがわかった。エンジンリサイクル工場に入荷されたエンジンは、アルミ溶鉱炉に投入されアルミイン

ゴットにリサイクルされる。アルミ溶鋳炉投入前に工具を使って着火プラグを取り外すことは難しいと回答を得た。アルミ溶鋳炉残渣から本事業でターゲットとしている高性能・長寿命のプラグを回収できる可能性があることを確認した。

事業化に向けた課題・対応は以下のとおりである。

⑦ レターパックでの回収運用時の課題検証

着火プラグをレターパックライトに満杯まで詰めた場合、60本程度を充填できるが、その際の想定重量は2.5kg程度である。一方で、O2センサーの場合、40本程度を充填できるが、その際の想定重量が4.3kg程度で、レターパックライトの重量制限である4kgを超過するため、出荷時に重量制限を超過するケースが発生しないか、着火プラグとO2センサーを混合回収するパイロット実証を通じて検証が必要である。このパイロット実証では、整備工場において通常プラグと高性能・長寿命プラグの仕分けを依頼し、仕分けの正確性も検証する。

⑧ エンジンリサイクル工場へのバリューチェーンの拡大

解体工場へのヒアリング調査により、エンジンは着火プラグが付いたままエンジンリサイクル工場に売却されていることがわかっており、エンジンリサイクル工場の現地調査により、アルミ溶鋳炉の残渣から事業でターゲットとしている高性能・長寿命プラグを回収できる可能性があることを確認したのは前述の通りである。エンジンリサイクル工場へとバリューチェーンを拡大するにあたり、アルミ溶鋳炉残渣からの着火プラグのピックアップを行い、残渣中着火プラグの残存価値を確認する必要がある。

## 2) 実証概要

ヒアリング調査の結果から、整備工場において着火プラグの通常プラグと高性能・長寿命プラグを仕分けできる可能性があることを確認した。そこで、整備工場に仕分けを依頼した上での回収実証を行う。回収にあたっては事業採算性向上のため、より安価な郵送手段が求められる。整備工場における着火プラグ、O2センサーの発生量、重量等から鑑みて、レターパックに実用性を見出しているため、実用に耐えうるかの実証を併せて行った。整備工場以外に、エンジンリサイクル工場のアルミ溶鋳炉残渣中からも着火プラグを回収できる可能性の検討をした。以上で得られた結果を元に回収モデルの構築を行った。

### (1) 整備工場からの回収モデルのパイロット実証

整備工場からの出荷時の重量超過、低品位部品の混入、その他運用課題について全国22社の整備工場と連携し、回収モデルのパイロット実証を10月から1月15日の3ヶ月半にかけて、賛同整備工場から順次郵送してもらう形で行った。

### (2) エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討

整備工場以外からの回収を検討するため、エンジンリサイクル会社4社（関東2社、京都、熊本）において、アルミ溶鋳炉の残渣に含まれる着火プラグの本数などを調査した。

### (3) 回収モデルの構築

(1)、(2)の結果から、O2センサー、着火プラグの回収モデルを検討し、構築した。

### 1.3.2. 整備工場からの回収モデルのパイロット実証

#### 1) 回収実証協力の依頼

整備工場への回収パイロット実証協力依頼は、DRP ネットワーク加盟店全店 477 工場を対象に回収事業を案内した。本年は新型コロナウイルスの影響により、現地説明回を開催することが原則的にできず、整備工場に対して直接協力の訴求はできなかった。実証に賛同してもらった整備工場から順次着火プラグ、O2 センサーの保管、郵送をしてもらい、2020 年 10 月～2021 年 1 月 15 日の期間で実施をした。なお、協力工場には図 41 の環境省委託事業であることを表すステッカーを配布した。

回収にあたり、図 42 のチラシの通り、以下 2 点のルールに則り郵送してもらうよう依頼した。

#### ① 高性能プラグの仕分け

イリジウムおよびプラチナを含有する高性能の着火プラグと、それらを含有しない低品位プラグは、電極の突起から容易に見分けられることがわかっている。低品位プラグの混入率が高くなると、相対的に高性能プラグ 1 本あたりの回収コストが高くなってしまうことから、整備工場において仕分けのうえで、PGM を含有する高性能プラグのみを郵送してもらうよう依頼した。

#### ② レターパック 1 枚あたりの本数

整備工場における発生頻度が異なることから、着火プラグと O2 センサーを混在させてレターパックに詰めて郵送するように依頼した。このとき、O2 センサーのみをレターパック満杯に詰めてしまうと、重量制限に達し、郵送できないことがわかっている。重量制限内に収まるように、レターパック 1 枚あたりに着火プラグと O2 センサー取り混ぜて 30 本から 40 本詰めて郵送してもらうよう依頼した。

## 環境省委託事業

### 令和 2 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

本工場では、使用済みとなった着火プラグと  
O2 センサーの回収に協力しています。

実証期間：2021年2月末日



協力工場名

図 41 協力工場に配布したステッカー

**高性能着火プラグとO<sub>2</sub>・A/Fセンサーの分別回収のお願い**  
 (工場様での回収は11月末日まで、下記郵送先への発送は12月10日まで)

**モデル事業へのご協力金について**  
 回収対象部品本数に応じて下記の金額(税別、レターパック代込)をお支払いします。  
 60本以上：6,000円、30本以上：3,500円、30本未満：1,500円

この度、リバーHD(株)は令和2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)やO<sub>2</sub>センサー・A/Fセンサーの全国規模での**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まいります**。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)着火プラグとO<sub>2</sub>・A/Fセンサーの分別にご協力ください** 

**O<sub>2</sub>・A/Fセンサー**





- **着火プラグは中心が尖っているものが対象**です。
- **O<sub>2</sub>・A/Fセンサーはすべて対象**です。
- **ハール缶などに分別して保管のご協力**をお願いします。


**高性能(イリジウム)着火プラグ**





中心が尖っている

 **着火プラグとO<sub>2</sub>・A/Fセンサーをレターパックライトでご郵送ください** 



- 本数が**30~40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。
- **回収期間中本数が40本に満たない場合は、11月末日まで分別した分をまとめて郵送**ください。
- 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、ご協力金をお支払いします。

図 42 整備工場への協力案内

## 2) 配送されたレターパックの状況

協力依頼の通りに全国の整備工場で集約されたプラグが、レターパックで郵送された状況は図 43 の通りである。多くのものは問題なく郵送されてきたが、一部のレターパックには郵送時に問題が発生していることを把握した。把握した問題は次の 2 点である。



図 43 レターパックによる回収の状況（一部）

### ① 航空輸送禁止シール

郵便局による航空輸送禁止の赤色のシールが貼られているものがあつた。これは、郵送時に郵便局側で内容物が航空輸送禁止物に該当すると判断されて貼られているものと思料される。郵便局発表による航空機による輸送ができないものの一覧は図 45 の通りであるが、O2 センサー、着火プラグには単体では引火性や有害性はないため、郵送時の手間を減らすためにも航空輸送禁止物品でない旨を記載する方がよいことがわかつた。

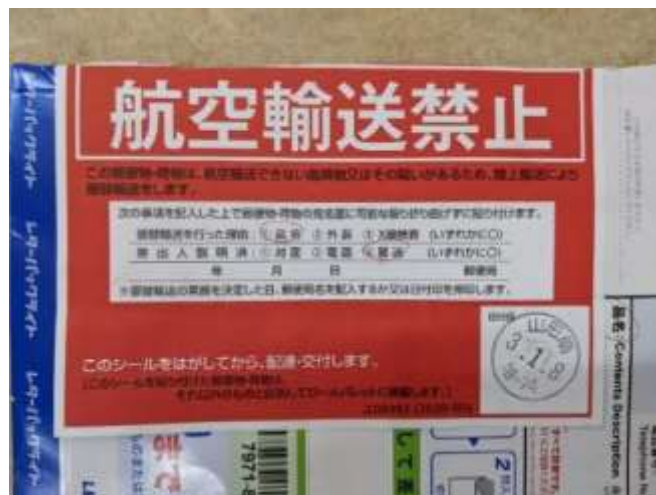


図 44 航空輸送禁止シール

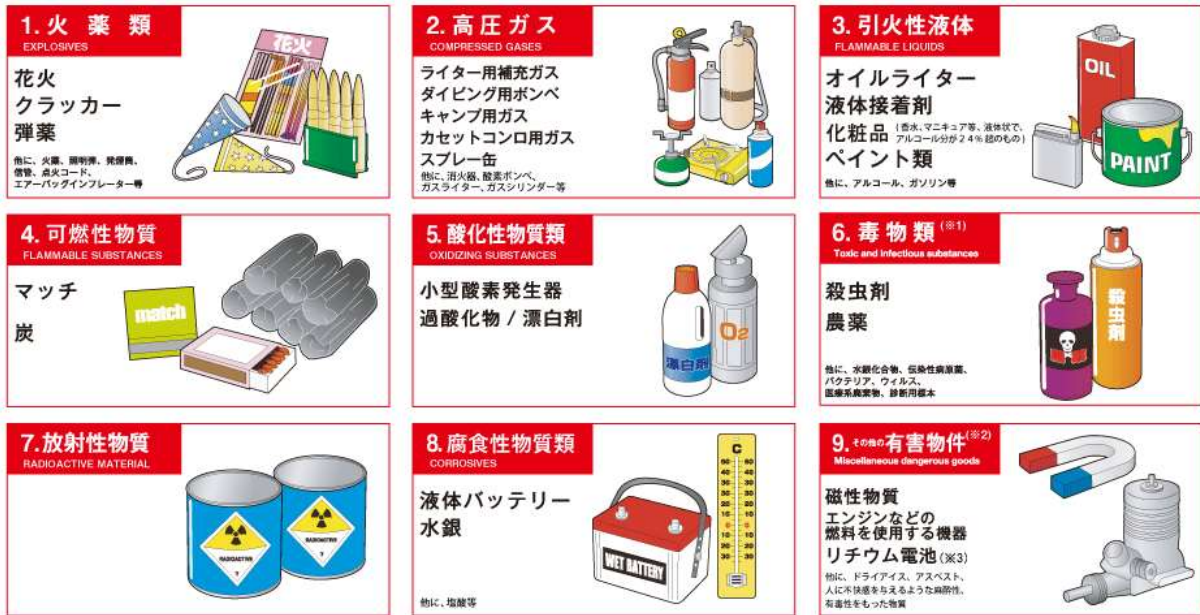


図 45 航空機による輸送ができないもの一覧

(<https://www.post.japanpost.jp/question/24.html>)

② レターパックの破損

配送されてきたレターパックの中には、レターパック本体が破れているものがあつた。着火プラグ、O<sub>2</sub>センサーをじかに詰めた場合、レターパックのボール紙の耐久性では郵送時に耐えられなかったものと思料される。破れたものの中には、郵便局にてテープで補修されているものもあつた。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、ビニール袋等に入れたうえで入れるなど、レターパック本体が破れないような工夫が必要であることがわかつた。



図 46 レターパックの破損状況

### 3) 回収した着火プラグ、O2センサーの集計

#### (1) 回収量の概要

2020年10月～2021年1月15日の実証期間に全国8ブロック、22社の協力が得られた。回収できたレターパック、着火プラグ、O2センサーを集計した結果は図47および表6のとおりである。合計で46枚のレターパックに詰められ送られてきており、着火プラグは1,436本、O2センサーは22本が回収できた。O2センサーに比べ、着火プラグは約70倍の本数であり、着火プラグの方が発生量は圧倒的に多いことがわかった。最も着火プラグの本数が多かったのは北海道のD社で、2.5か月の期間に197本であった。これは、ひと月あたり約80本のプラグ交換が発生していることになる。ブロック別に見ても、回収できた本数が最も多いのは北海道ブロックの578本であった。北海道ブロックは1社ごとの回収本数が多く、実証期間中継続して複数回郵送してくれていた。このことから、遠隔地であってもレターパックによる回収であれば、回収場所と整備工場との距離は障壁にならないことが確認できた。

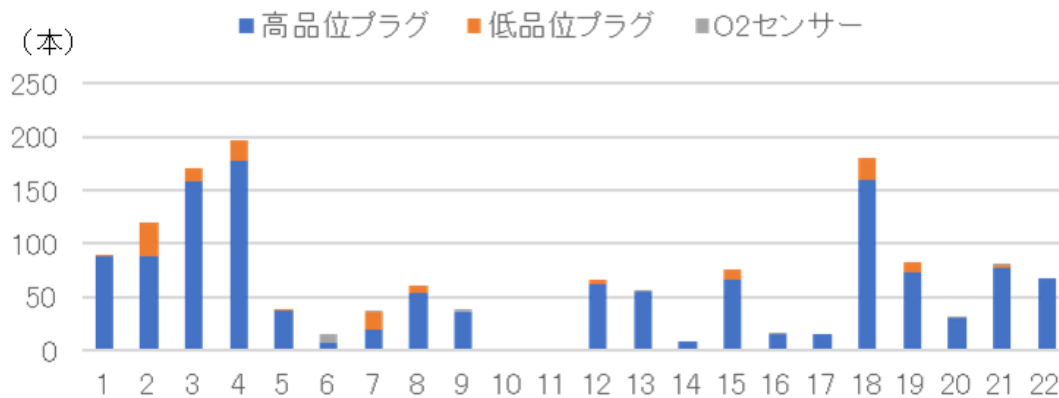


図 47 回収量の概要

表 6 パイロット実証回収本数

No.	ブロック	都道府県名	会社名	レタパ 枚数	高性能 プラグ	低品位 プラグ	プラグ 合計	O2 センサー
1	北海道	北海道	A 社	3	88	2	90	
2		北海道	B 社	4	88	32	120	
3		北海道	C 社	4	159	12	171	
4		北海道	D 社	5	178	19	197	
北海道ブロック小計				16	513	65	578	0
5	東北	岩手県	E 社	1	38	1	39	
6		山形県	F 社	1	7	0	7	9
7		山形県	G 社	1	20	16	36	1
東北ブロック小計				3	65	17	82	10
8	関東	茨城県	H 社	2	54	7	61	
9		茨城県	I 社	1	36	0	36	3
10		栃木県	J 社	1	0	0	0	2
11		群馬県	K 社	1	0	0	0	1
12		東京都	L 社	2	62	4	66	
13		千葉県	M 社	2	55	0	55	1
14		千葉県	N 社	1	9	0	9	
関東ブロック小計				10	216	11	227	7
15	中部	岐阜県	O 社	2	66	10	76	
中部ブロック小計				2	66	10	76	0
16	近畿	滋賀県	P 社	1	15	0	15	2
17		大阪府	Q 社	1	16	0	16	
18		奈良県	R 社	6	160	20	180	
近畿ブロック小計				8	191	20	211	2
19	中国	広島県	S 社	2	73	10	83	
中国ブロック小計				2	73	10	83	0
20	四国	愛媛県	T 社	1	31	0	31	1
四国ブロック小計				1	31	0	31	1
21	九州	長崎県	U 社	2	77	3	80	2
22		鹿児島県	V 社	2	68	0	68	
九州ブロック小計				4	145	3	148	2
合計				46	1300	136	1436	22



## (2) 低品位部品の混入割合

パイロット実証へ協力依頼にあたり、各整備工場に対して、イリジウムおよびプラチナを含有する高性能の着火プラグと、そうではない低品位の着火プラグの見分け方を案内し、高性能のもののみを仕分けて郵送してもらうよう依頼した。その条件で回収した着火プラグ全体の本数に対する低品位着火プラグの割合を図 48 に示す。整備工場別に見ると、混入率は最大で 40% 超、最小で 0% であり、仕分け方法を遵守できているところとそうでないところの差が大きい。多くの工場は 10% 以下の混入率であり、中央値は 3% であった。

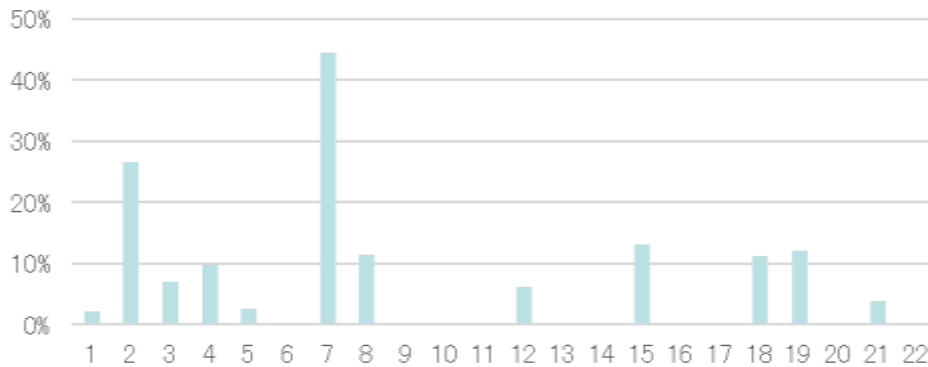


図 48 低品位プラグの混入割合

## (3) レターパック 1 枚あたりの本数

パイロット実証へ協力依頼にあたり、各整備工場に対して、レターパック 1 枚あたりに着火プラグと O<sub>2</sub> センサー取り混ぜて 30 本から 40 本詰めて郵送するように依頼している。実際に回収したレターパック 1 枚あたりに詰められていた本数は、図 49 に示すとおりである。複数回郵送のあった整備工場については、平均値をとっている。指定していた 30 本を下回る整備工場が 22 社中 12 社と多いが、これは実証期間中または実証期間終了間際の発生本数が少なく、30 本に満たないまま郵送したものの影響であると思量される。



図 49 レターパック 1 枚あたりの本数

#### (4) 回収コスト

レターパックライト 1 枚の価格は 370 円であり、前述のレターパック 1 枚あたりの本数 (3) のレターパック 1 枚あたりの本数で割ると、1 本あたりの回収コストが計算できる。計算の結果は図 50 に示すとおりであり、整備工場によりバラツキがみられる。中央値は 1 本あたり 12.9 円であった。

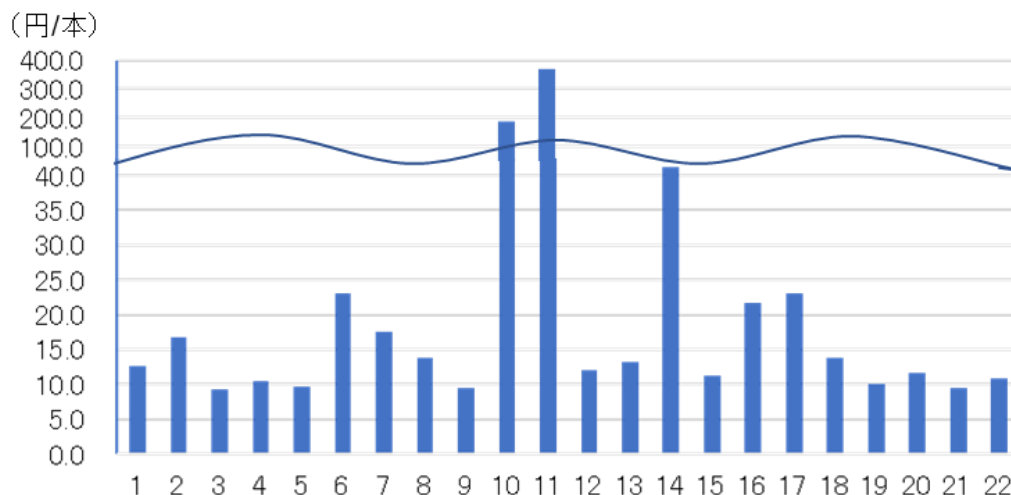


図 50 回収コスト

### 1.3.3. エンジンリサイクル工場からの回収可能性の検討

#### 1) アルミ溶鋳炉残渣からの回収

昨年度にて整備工場へヒアリング調査した結果、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鋳炉の残渣中に着火プラグが残存していることは確認済みである。回収可能性を検討するため、同エンジンリサイクル工場に 1 週間分の残渣の保管を依頼し、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 週間分のアルミ溶鋳炉残渣は図 51 に示すように、フレコン 3 個分の量であった。フレコンを展開した状況が図 52 であり、着火プラグと同程度のサイズの部品が多く残っていた。



図 51 1週間分のアルミ溶鉱炉残渣



図 52 残渣袋を展開した状況

このアルミ溶鋳炉残渣から、目視で着火プラグを見分け、手作業によりピックアップを行った。ピックアップ時の状況は図 53 に示すとおりであり、手がかき分けながら行った。回収できた着火プラグを図 54 に示す。ピックアップの所要時間は2人で3時間要し、1週間分のアルミ溶鋳炉残渣から 332 本の着火プラグを回収した。



図 53 残渣中の着火プラグをピックアップしている状況



図 54 1週間分の残渣からピックアップした着火プラグ (332 本)

## 2) エンジンリサイクル工場へのヒアリング

新たに3社の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間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、埼玉県内の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 55 に示すように破砕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 55 埼玉のエンジンリサイクル工場における破砕後溶解プロセス

### 1.3.4. 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 56 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。破砕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、O<sub>2</sub>センサーがともに破砕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、本年度ピックアップ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業のリサイクル業者に引き渡されるカ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、O<sub>2</sub>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)	○	○
エンジンリサイクル会社	破砕後に溶解	×	×
	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 56 着火プラグ、O2 センサーの回収検討

### 1.3.5. 事業化に向けた課題・対応策

#### 1) レターパックによる回収の洗練化

レターパックによる回収のパイロット実証により、PGM を含有する高性能プラグとそうではない低品位プラグの仕分けの事業者ごとのバラツキが大きいことがわかった。低品位プラグの混入は採算性の低下に繋がるため、低品位プラグの混入率を下げるような協力依頼方法を検討し、引き続き回収実証を行う。

#### 2) リビルトエンジン会社からの回収可能性の検討

ヒアリングを行ったエンジンリサイクル会社の多くは、エンジン溶解前に破砕プロセスをとっていたため、回収可能性がないことがわかった。一方、リビルトエンジン会社では手解体プロセスが中心となっているため回収可能性があるという意見を得たため、リビルトエンジン会社からの回収可能性について検討する。

#### 3) 大規模工場と小規模工場への回収ネットワークの拡大

着火プラグ、O2 センサーの発生量がひと月に 30 本~40 本程度の中規模整備工場であれば、レターパックによる回収が適していることを確認した。一方、大規模事業者または小規模事業者の場合、それぞれの発生量に応じた回収スキームを構築する必要がある。

## 1.4. ビジネスモデルの DX に関する検討

### 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 57 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。

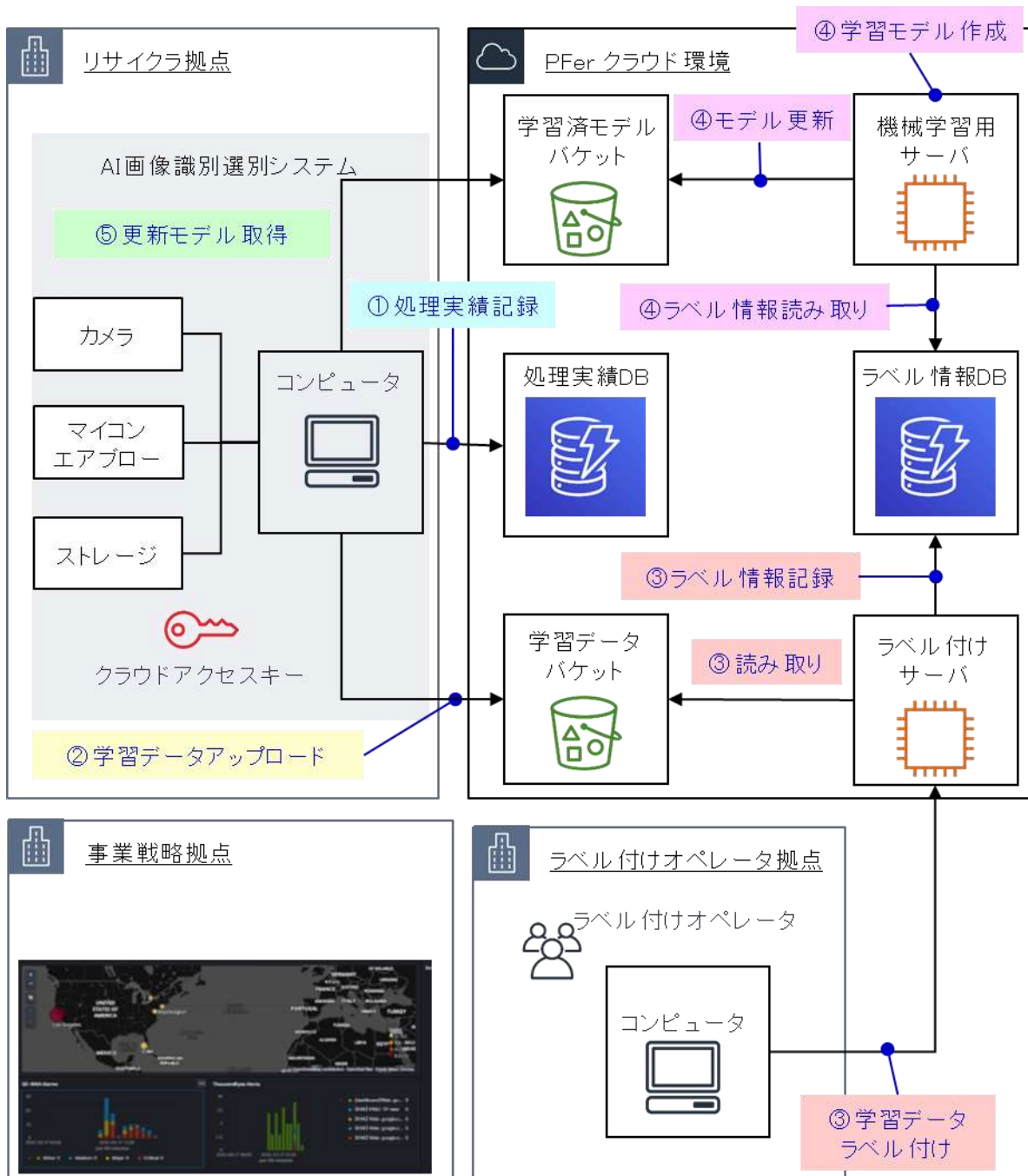


図 57 AI 画像認識選別システムの DX 事業モデル

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 57 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。

## 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 58 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



リサイクラ向けには、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ラ向けには販売する。それができない小規模または公共系リサイクラ向けには、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ラであれば、売買代行でロット集約後に精錬会社と取引を行う。

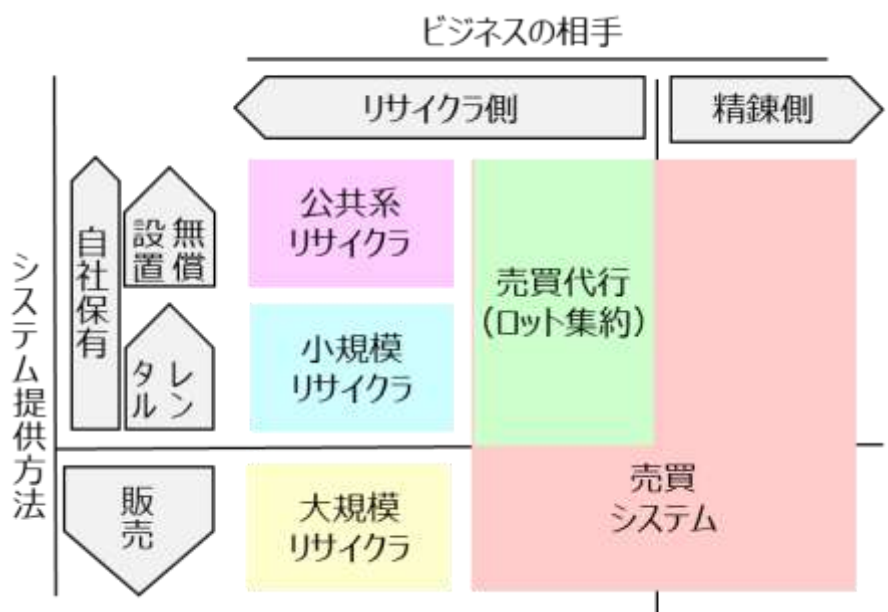


図 58 ビジネスの相手に応じた AI 画像認識選別システムの提供方法

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。

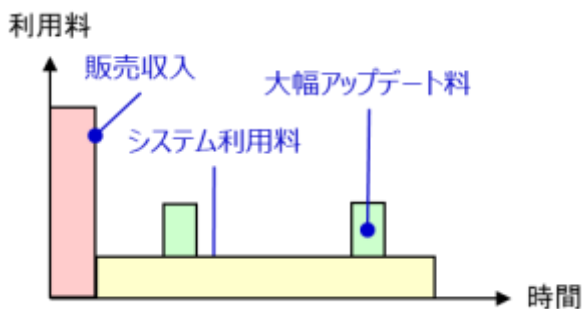


図 59 販売モデル概要

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を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。

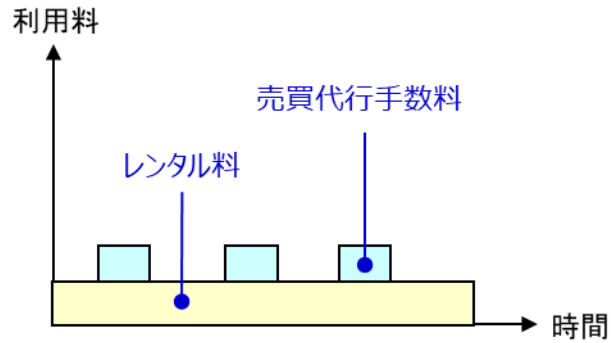


図 60 レンタルモデル概要

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。

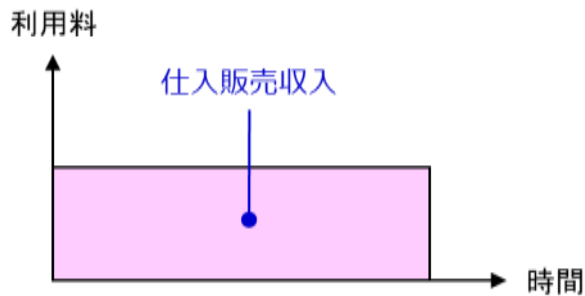


図 61 無償設置モデル概要

### 1.4.2. 事業化に向けた課題・対応策

#### 1) リサイクルのネットワークインフラ調査

本実証で検討した AI 画像認識選別システムの DX 事業モデルの IT システム構築にあたり、クラウド環境に接続される各リサイクル拠点のネットワークインフラを把握する必要がある。

#### 2) 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

上記リサイクルのネットワークインフラ環境を考慮した上で、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からなる AI 画像認識選別システムの IT システムを設計・構築し、テスト実証を行う。

## 1.5. 事業性の評価

### 1.5.1. 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、ターゲット PGM 含有部品以外の部品について付加価値を創出するために、以下の検討を行った。

#### 1) 忌避元素含有部品の選別

図 62 に示す、電子部品の一つであるアルミ電解コンデンサに含まれるアルミは、精錬時の忌避元素とされている。一方で、脱酸材としての用途があることから、精錬忌避元素を排除するために選別したアルミ電解コンデンサを、脱酸材として販売できるか検討を行った。

成分分析や打合せを重ね、製鉄所でのアルミ電解コンデンサの脱酸剤用途での販売に向けた実機テストは今後実施予定である。販売できた場合、昨年度と比較し、売上高が 1%増加する見込みである。製錬所における当該部品の受入制約が本格化した際に、当該部品が混入した資源の販売価格低下や取引対象外となることによる産廃化といった潜在的リスクを解消できる。また、家電リサイクル工程でアルミコンデンサを除去しているリサイクラがその後の販路に苦慮している情報があることから、そのようなリサイクラに対して本成果の事業ニーズの拡大も期待できることがわかった。



図 62 アルミ電解コンデンサ

#### 2) Pt、Ir 分離後の着火プラグからの Ni 回収

図 63 に示す着火プラグから Pt 含有部位（外側電極）、Ir 含有部位（中心電極）を分離した残りの部位から塩化鉄による Ni 回収を試験実施した。試験の結果は表 7 に示すとおりであり、Fe、Cr、Ni が塩化鉄に溶解しており、有価物として取引できる可能性を確認した。これら以外の溶解した成分を詳細に分析することで、最終的に有価取引できるか検討する。



図 63 PGM 含有部位分離後の着火プラグ（左）と酸化鉄溶液（右）

表 7 着火プラグ溶解試験結果

成分	投入前	投入後
T-Fe	194.5	207.0
Cr	0.1	1.3
Ni	0.1	4.2

### 3) 2mm アンダー電子部品の付加価値向上

2mm アンダー電子部品には半田成分、Cu、Ni、Al が含まれていることから、塩化鉄プロセスに投入することによる付加価値向上を検討した。

塩化鉄プロセスへの投入により 45wt%の重量減（溶解）を確認できたものの、理論上は溶解される Cu、Ni、Al が溶解できていなかった。この原因には、電子部品の内部部材やセラミックスの影響が考えられる。投入の結果は図 64 に示すとおりであったが、精錬所での売鉱条件が好条件になるまでには至らないことがわかった。

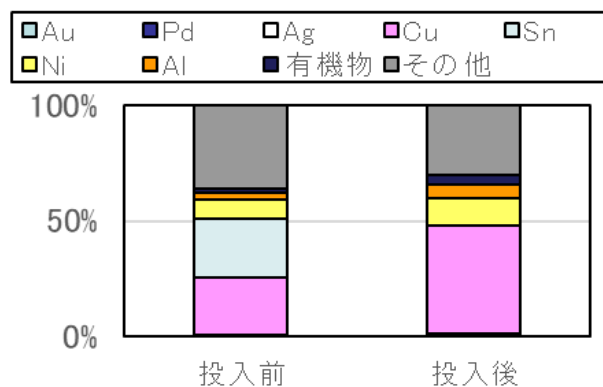


図 64 2mm アンダー電子部品の塩化鉄溶解

## 1.5.2. PGM 含有率のばらつきの検討

### 1) 価値の低いプラグの混入割合

回収時に低品位プラグが混入していると、1本あたりの回収コストが上がってしまい、事業採算性に影響することから、混入割合は少ない方が望ましい。レターパックによる回収のパイロット実証において、整備工場に対して高性能プラグと低品位プラグを仕分けた上で、高性能プラグのみを郵送するよう依頼した。協力整備工場と低品位プラグの混入割合は図 65 に示すとおりである。低品位プラグの混入割合は中央値 3%と低い結果であった。一方、混入割合が 10~40%台の工場もあり、こうした工場からの回収本数が多いと採算性への影響が大きいことから、周知することで改善できるのか追加でヒアリングを実施予定である。

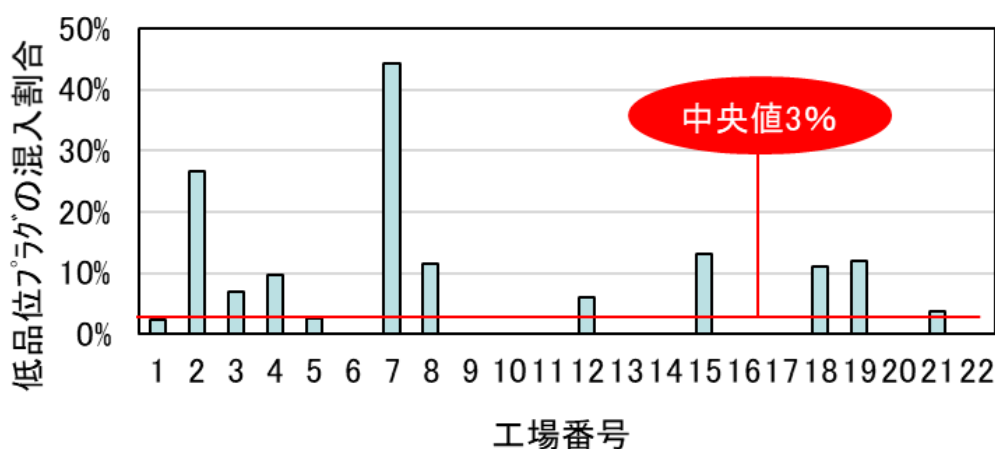


図 65 回収パイロット実証における低品位プラグの混入割合

### 2) Pt、Ir 含有量のばらつき

平成 31 年度に着火プラグ、O<sub>2</sub> センサーの PGM 含有部位について定性分析を実施し、魅力的な濃度でプラチナおよびイリジウムが含有されていることがわかっている。本事業では、レターパック回収のパイロット実証と、エンジンリサイクル工場からのピックアップにより回収した着火プラグ、O<sub>2</sub> センサーについて定量分析により含有量を測定し、由来による PGM 含有量のばらつきについて調査した。

O<sub>2</sub> センサーの Pt 含有量について、分析の結果、含有量は 2400~3800 mg/kg、1本当たりで 8.5~8.7 mg/kg でエンジン側とマフラー側での違いは見られなかった。

着火プラグの外側電極の Pt 含有量については、アルミ精錬後に回収されたものと整備工場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 21,000 mg/kg に対し整備工場は 7,000 mg/kg であった。1本当たり含有量もアルミ精錬後は 2.75 mg/kg、整備工場は 1.37 mg/kg と違いがあった。

着火プラグの中心電極の Ir 含有量については、アルミ精錬後に回収されたものと整備工場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 20,000 mg/kg に対し整備工場は 34,000 mg/kg で、1本当たり含有量はそれぞれ、0.235 mg/本と 0.286 mg/本であった。

### 1.5.3. 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 66 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、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。

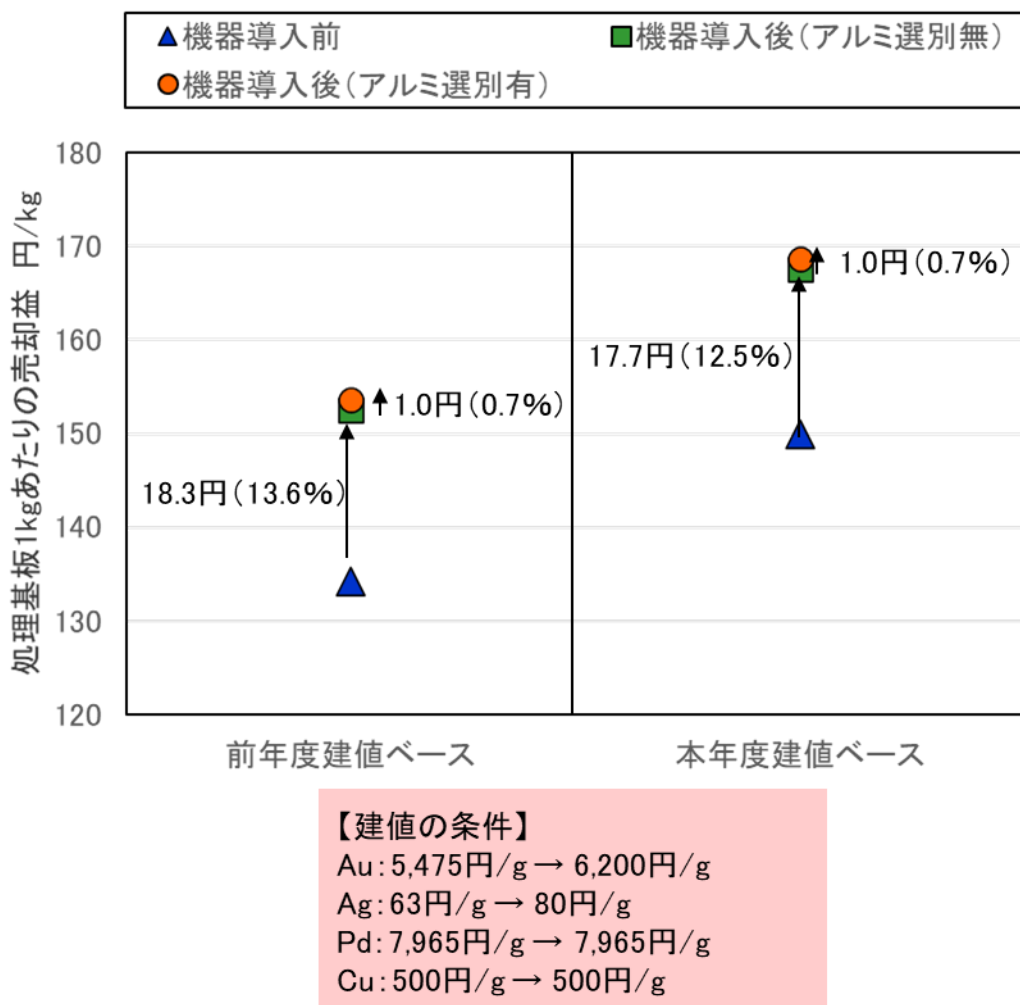


図 66 アステック入江を想定した処理基板 1kg あたりの売却益

## 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 67 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。

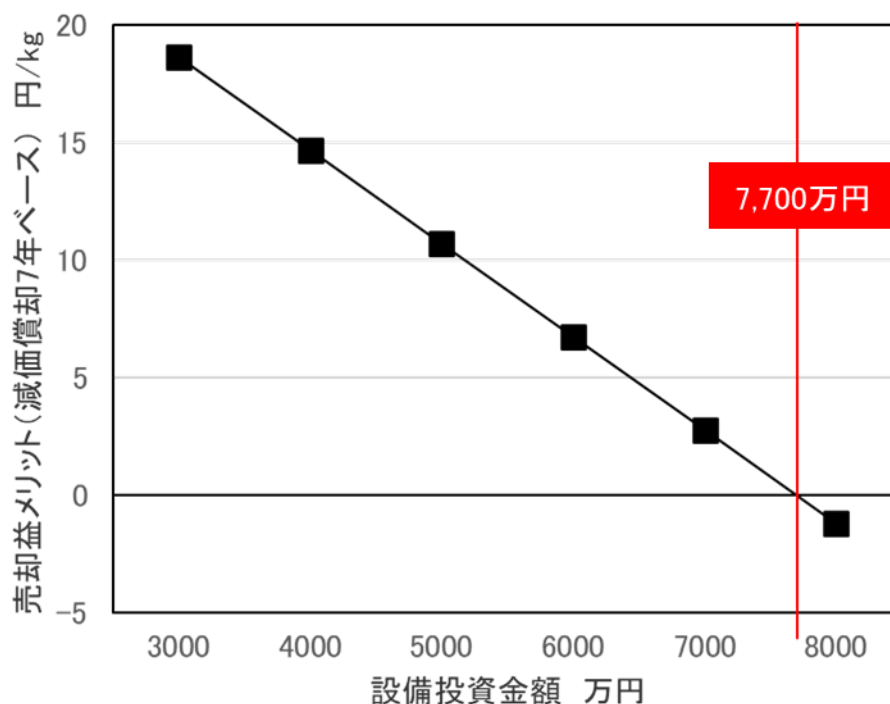


図 67 7 年で設備投資を回収する場合の上限額

## 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 68 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。

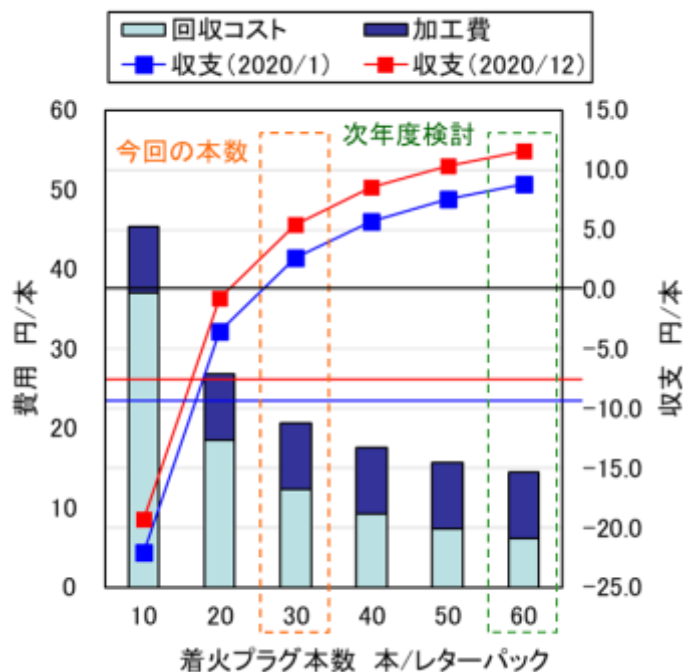


図 68 レターパックによる回収コスト別の収支

#### 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。

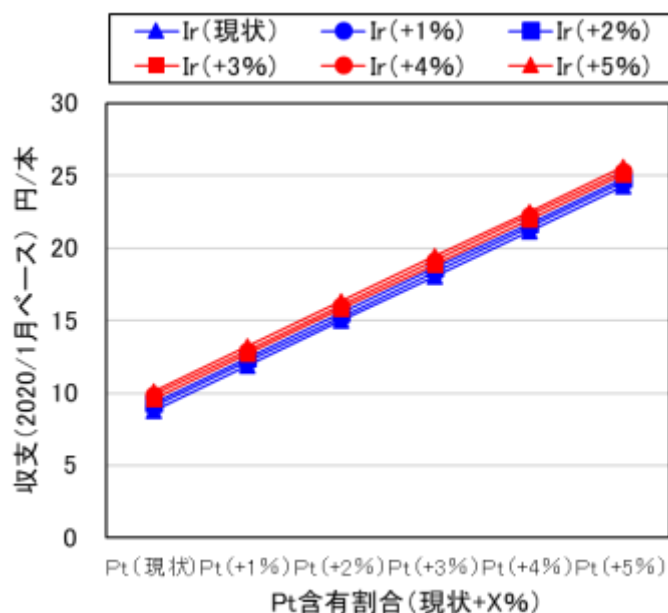


図 69 Pt、Ir 含有量と収支



## 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。

#### 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 70 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。但し、ベースライン・本事業とも混載物流による回収を行うものとするが、ベースラインは近隣の資源リサイクルへの輸送であり、輸送距離を 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、輸送距離を 300km と設定している。

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

能であるとする。

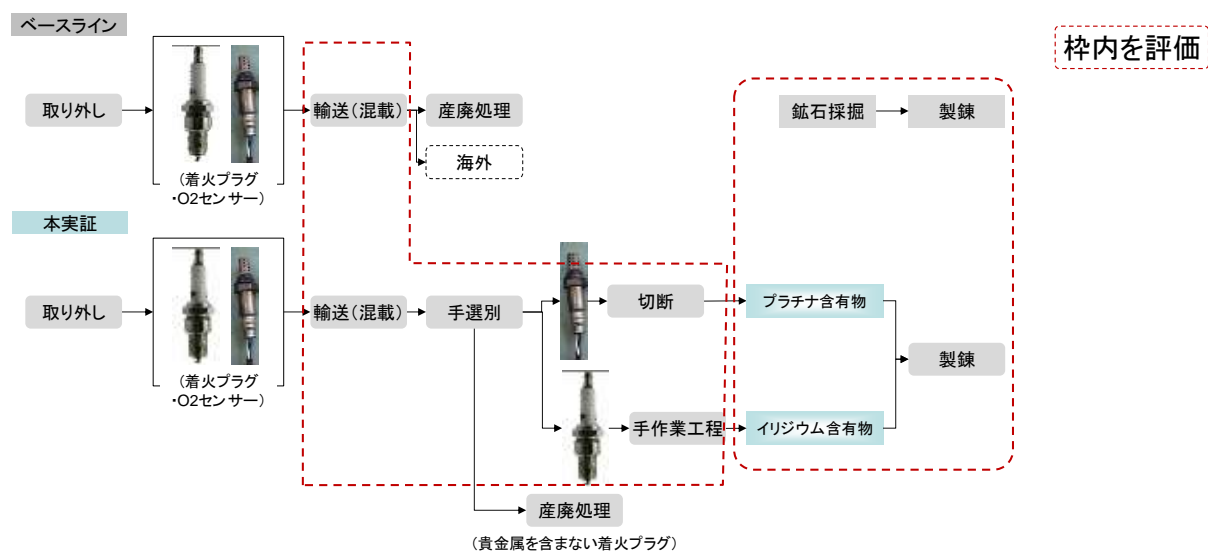


図 70 着火プラグ・O2 センサーのバウンダリ

## 2.1.2. 電子基板のインベントリ・バウンダリ (図 71 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。)

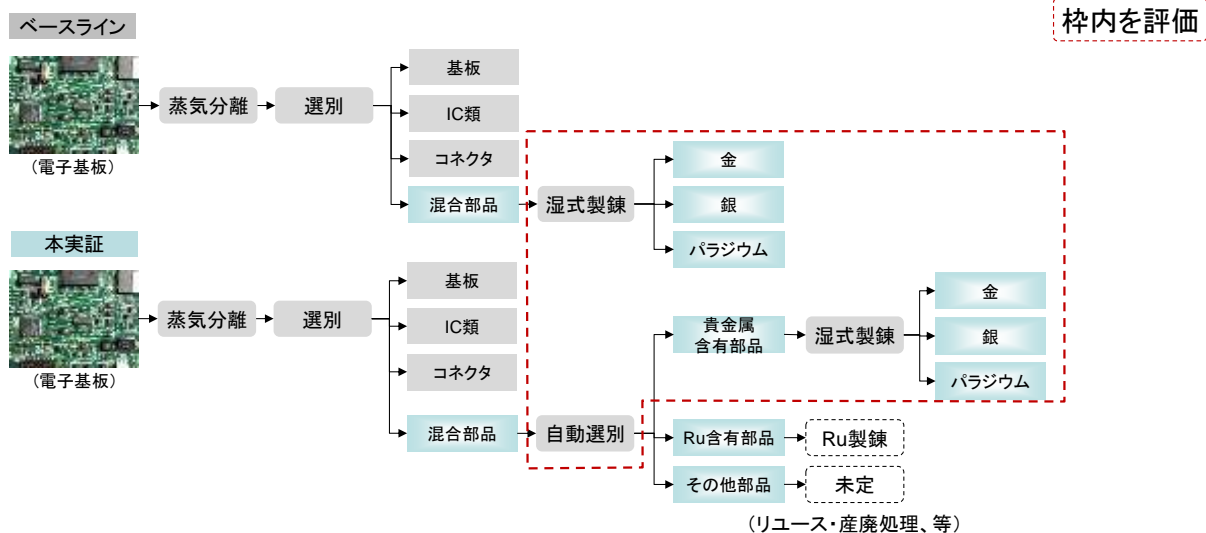


図 71 電子基板のバウンダリ

## 2.2. CO2 削減効果の試算

### 2.2.1. 着火プラグ・O2 センサー（図 72 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、(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(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。

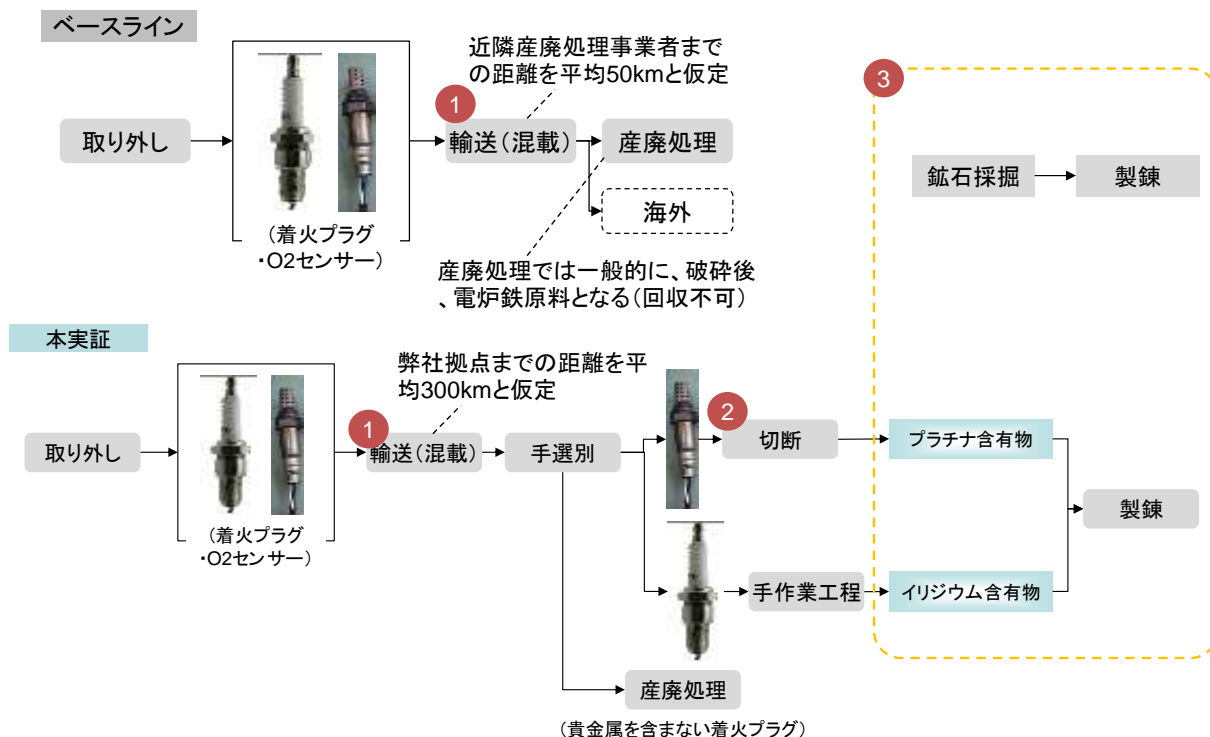


図 72 評価の前提条件

## 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 8 の通りとなった。

ベースライン :  $0.530\text{kg-CO}_2 + 0.057\text{kg-CO}_2 = 0.587\text{kg-CO}_2$

本事業 :  $0.934\text{kg-CO}_2 + 0.340\text{kg-CO}_2 = 1.274\text{kg-CO}_2$

表 8 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*	0.530kg-CO2
	本事業		300		0.934kg-CO2
着火 プラグ	ベース ライン	3.91	50		0.057kg-CO2
	本事業		300		0.340kg-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 9 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】  $34.1\text{kg-鉱石} \times 0.144\text{kg-CO2/kg-鉱石} = 4.910\text{kg-CO2}$

【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 10 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 <sup>*</sup>	0.002kg-CO2	0.002kg-CO2

### 3) まとめ

表 11 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10.247kg-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 11 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	0.530kg-CO2+0.057kg-CO2=0.587kg-CO2			12.069kg-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	0.934+0.340+0.546=1.82kg-CO2			1.822kg-CO2
	地金精錬	0.011	0.193*	0.002kg-CO2	
本事業による CO2 削減効果					10.247kg-CO2

## 2.2.2. 電子基板

### 1) 評価の前提条件 (図 73 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。

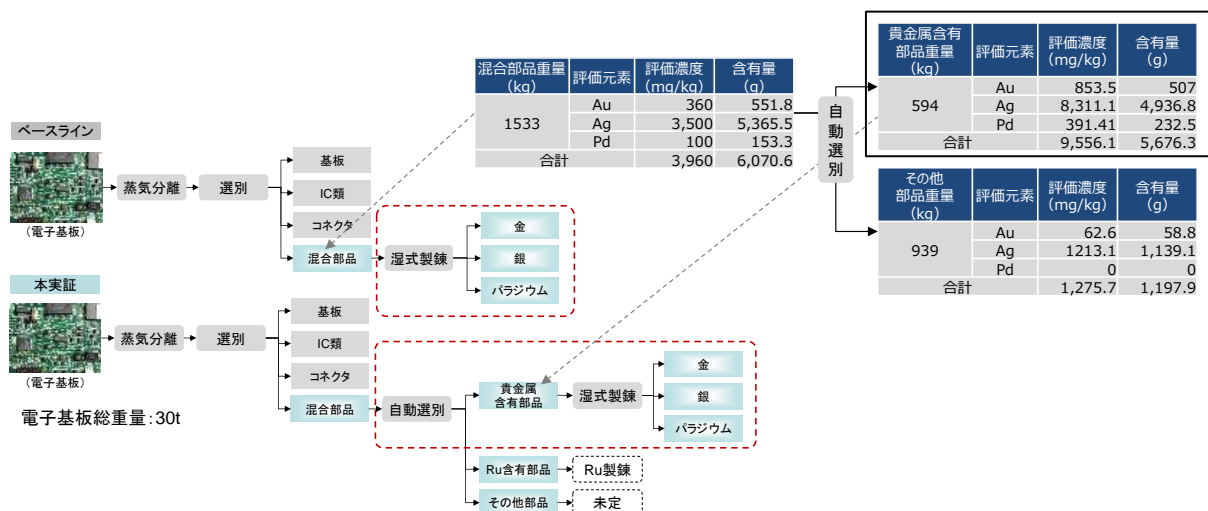


図 73 評価の前提条件

### 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

総重量：1,533kg-混合部品

貴金属濃度：3,960mg/kg-混合部品

①湿式製錬にかかる CO2 発生量※：871.49kg-CO2/kg-貴金属

※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 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。

### 3) 自動選別の電力消費にかかる CO2 排出量

自動選別にかかる電力量（実測）：5kWh/5.676Kg-貴金属

②貴金属 1kg 分の部品選別にかかる CO2 発生量：

$5\text{kWh} \times 0.455\text{kg-co2/kWh} \div 5.676\text{kg-貴金属} = 0.4\text{kg-co2/kg 貴金属}$

### 4) 貴金属含有部品の湿式精錬による CO2 排出量

総量：594kg-貴金属部品

貴金属濃度：9,556.1mg/kg-混合部品

③湿式製錬にかかる CO2 発生量※：399.42kg-CO2/kg-貴金属

※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。

### 5) まとめ

本事業による CO2 削減効果：

①混合部品の湿式製錬 CO2 排出量 - ②自動選別にかかる CO2 排出量 - ③貴金属含有部品の湿式製錬 CO2 排出量

$= 871.49 - 0.4 - 399.42$

$= 471.67\text{kg-co2/kg-貴金属}$

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、CO2 削減効果は、21.419t-CO2/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。

##### 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から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 21,000 mg/kg に対し整備工場は 7,000 mg/kg であった。1本あたり含有量もアルミ精錬後は 2.75 mg/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から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 20,000 mg/kg に対し整備工場は 34,000 mg/kg で、1本あたり含有量はそれぞれ、0.235 mg/本と 0.286 mg/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、バラツキが大きいため、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。

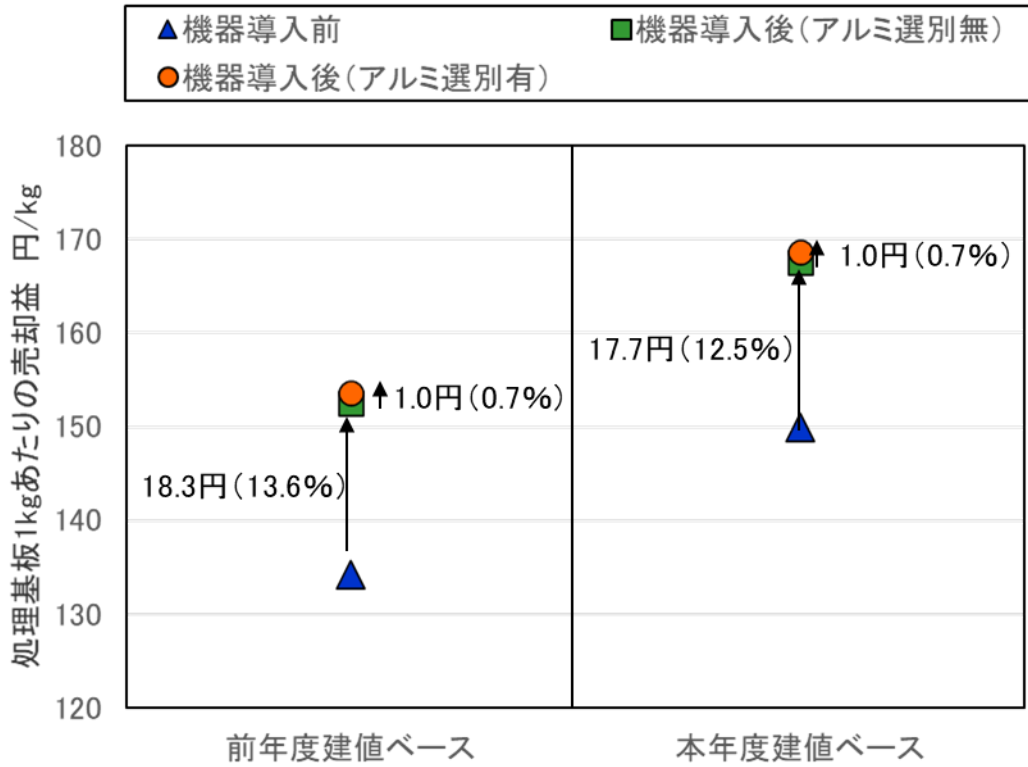


図 74 建値を考慮した AI 画像認識選別システムの導入による売却益の変化

### 3.3. 事業化に向けた課題

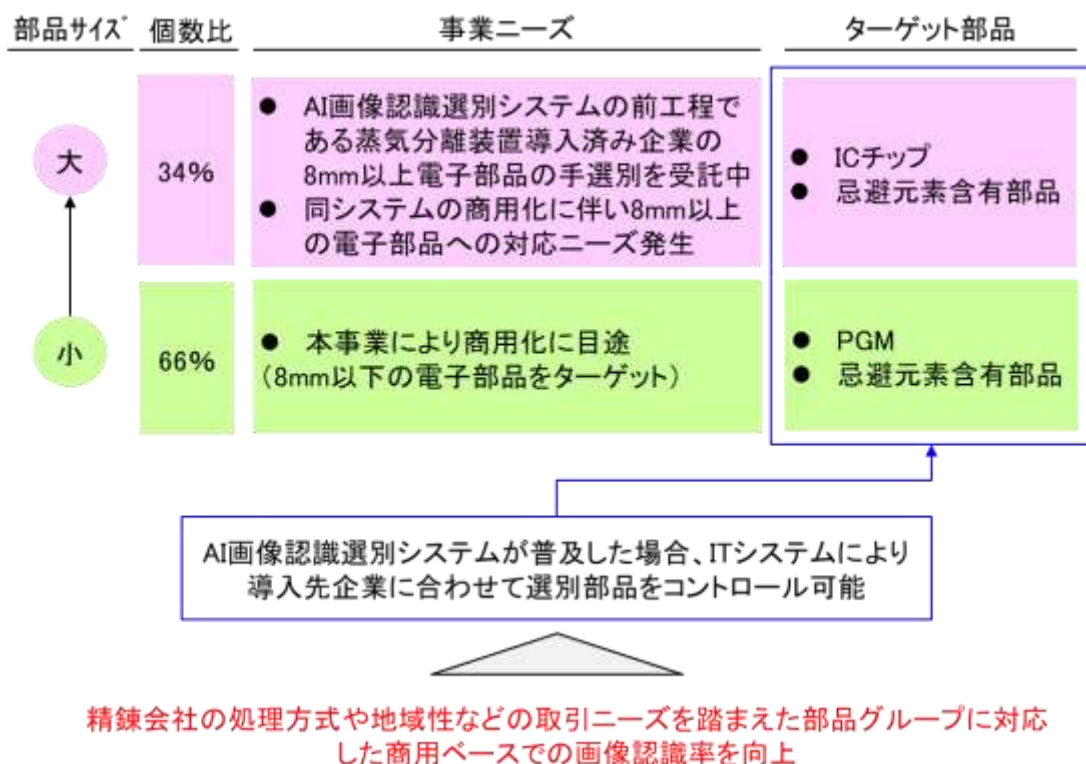
#### 3.3.1. AI 画像認識選別システムによる電子部品の選別率の向上

##### 1) 8mm よりも大きな電子部品の選別に対応したシステム構築

本事業では、PGM 含有部品を含む 8mm 以下の電子部品をターゲットとして、AI 画像認識選別システムの開発を行い、商用化の目処をつけている。一方で、8mm 以上の電子部品についてはまだ AI 画像認識選別システムの認識対象外である。同電子部品は、電子基版から剥離した全電子部品の個数の約 3 分の 1 を占め、IC チップ、忌避元素含有部品等を含む。事業ニーズとしては、既に蒸気分離装置導入済み企業から手選別を受託していることに加え、同システムの商用化に伴い 8mm 以上の電子部品への対応ニーズの発生が見込める。そこで、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。

##### 2) 精錬会社の処理方式や地域性等の取引ニーズを踏まえた部品グループへの対応

現時点で AI 画像認識選別システムの対象としている 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等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。これらの部品グループは 8mm よりも大きな電子部品も含めて対応させる。将来的に AI 画像認識選別システムが普及した場合、IT システムにより導入先企業に合わせて選別部品をコントロールできるようにする。



### 3.3.2. 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

#### 1) レターパックによる回収の運用確認

本年度実証の整備工場からのレターパック回収パイロット実証では、車検整備台数が多い整備工場からは事業採算性をレターパックによる回収可能性が高いことを確認した。翌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するとともに社会実装に向けた最終的な運用確認を行う。

#### 2) リビルトエンジン会社からの回収可能性の検討

エンジンリサイクル会社へのヒアリングにて、リビルトエンジン会社ではエンジンの手解体プロセスが中心となっているため、着火プラグの回収可能性があるという意見を得た。リビルトエンジン会社へのヒアリング、発生本数の調査等により、回収可能性を検討する。

#### 3) 大規模整備工場および小規模板金業者への回収ネットワークの拡大

大規模整備工場からは、着火プラグ、O2センサーの発生本数によっては宅配便による発送ニーズが想定される。この場合事業採算性を確保するためのコストコントロールが可能かどうか検討する必要がある。一方、発生本数の少ない板金業者からは、レターパックを利用した回収では1本あたりの回収コストが高くなり、採算がとれなくなるおそれがあることを確認している。そこで、地域部品商と連携した回収スキームを検討する。上記大規模および小規模業者からの回収スキーム検討により、着火プラグ、O2センサーの回収ネットワークの拡大を図る。

本年度パイロット実証の範囲		取り外し可否(経済性考慮)		回収方法
		着火プラグ	O2センサー	
整備・板金業者	大規模	○	○	宅配便での発送ニーズがありコストコントロールができるか要検討 <span style="float:right">次年度検討</span>
	中規模(月30~40個)	○	○	レターパックで経済的に回収可能 <span style="float:right">本年度実証済み(次年度継続)</span>
	小規模(月10本未満)	○	○	地域部品商などと連携した回収スキームを想定 <span style="float:right">次年度検討</span>
エンジンリサイクル会社	破碎後に溶解	×	×	着火プラグ、O2センサーも破碎されるため回収不可 <span style="float:right">本年度実証済み</span>
	手解体後に溶解 <sup>*1</sup>	○	○	手解体プロセスでO2センサー、溶解後の残差から着火プラグをピッキングすることで回収可能(ピッキングコストは1本あたり8円程度)
解体業者		×	○	O2センサーは手解体プロセスで回収可能
エンジンリビルト会社		○ <sup>*2</sup>	×	消耗品として着火プラグを交換していれば回収可能 <span style="float:right">次年度検討</span>

\*1: 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)

\*2: 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

### 3.3.3. ビジネスモデルの DX に関する検討

#### 1) リサイクラのネットワークインフラ調査

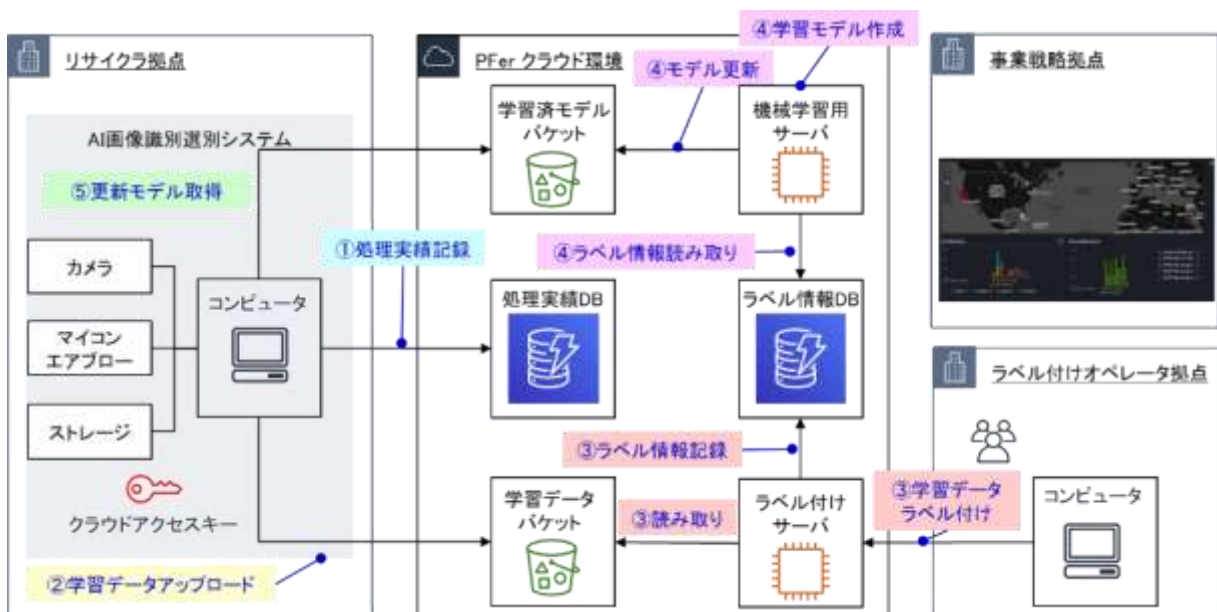
AI 画像認識選別システムを社会実装するにあたり、クラウド環境に接続されるリサイクラ拠点の環境を把握した上で設計する必要があることから、リサイクラ 3 社程度のネットワークインフラを調査する。

#### 2) AI 画像認識選別システムの IT システムの設計・構築

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からなる AI 画像認識選別システムの IT システムを設計・構築する。

#### 3) AI 画像認識選別システム IT のシステムのテスト検証

上記で構築した IT 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。



### 3.3.4. 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

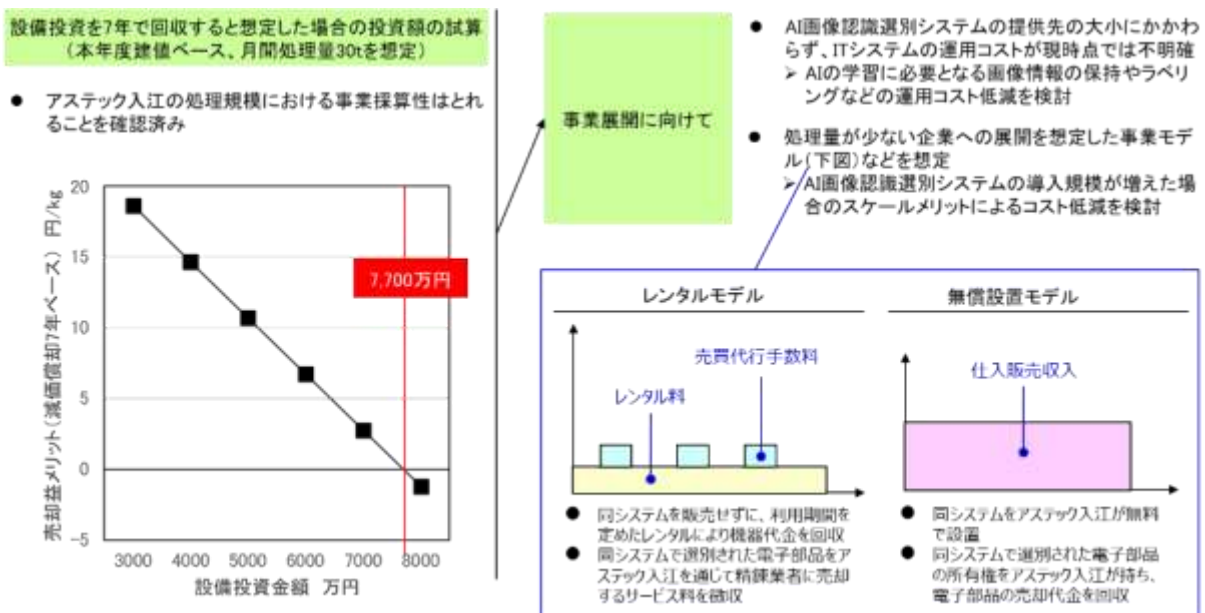
AI 画像認識選別システムの事業モデルとして、①販売モデル、②レンタルモデル、③無償設置モデルの3パターンを検討した。処理量が少ないリサイクラまたは公共系のリサイクラに対しては、設置期間のレンタル料と電子部品の売買代行料を徴収するレンタルモデルまたは電子部品の所有権をアステック入江が持ち、売却代金を徴収する無償設置モデルによる設置を想定している。これらのリサイクラ側のコストについて、同システムの導入規模が増えた場合の低減を検討する。

#### 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 の学習に必要となる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。



#### 4) Pt、Ir 分離後の着火プラグからの Ni 回収における取引条件の明確化

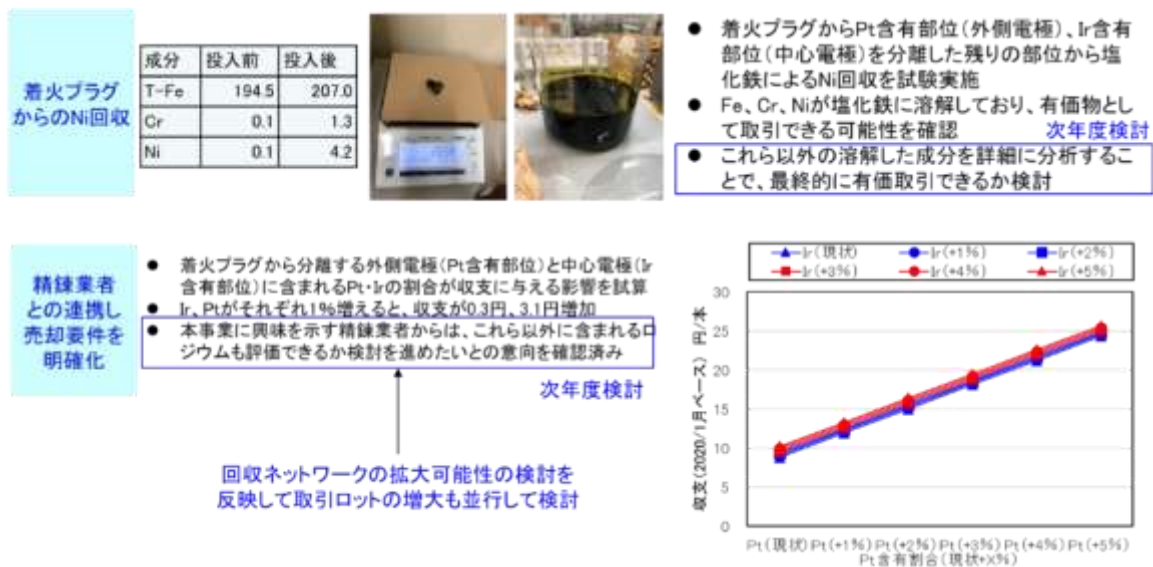
着火プラグの Pt 含有部位である外側電極と、Ir 含有部位である中心電極を分離した残りの部位から、塩化鉄により Fe、Cr、Ni が溶解していることを確認し、有価物として取引できる可能性を見出している。次年度は、これら以外の溶解した成分を詳細に分析することで、最終的に有価取引できるか検討する。

#### 5) 着火プラグ・O2 センサーの資源評価および精錬業者への売却要件の明確化

本事業に興味を示す精錬業者からは、着火プラグから分離した Pt、Ir 含有部位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していることから、ロジウムを加味した評価対象となる資源、パイロット実証で回収した着火プラグ・O2 センサーの資源評価を行う。また、回収ネットワークの拡大可能性を反映した取引ロットの増大も並行して検討し、精錬業者への売却要件を明確化する。

#### 6) 事業規模を含めた事業計画の策定

上記で明確化した資源売却要件を踏まえ、資源価格の変動、含有率の変動による感度解析を行い、採算性を評価するとともに必要となる事業規模を含めた事業計画を策定する。



### 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

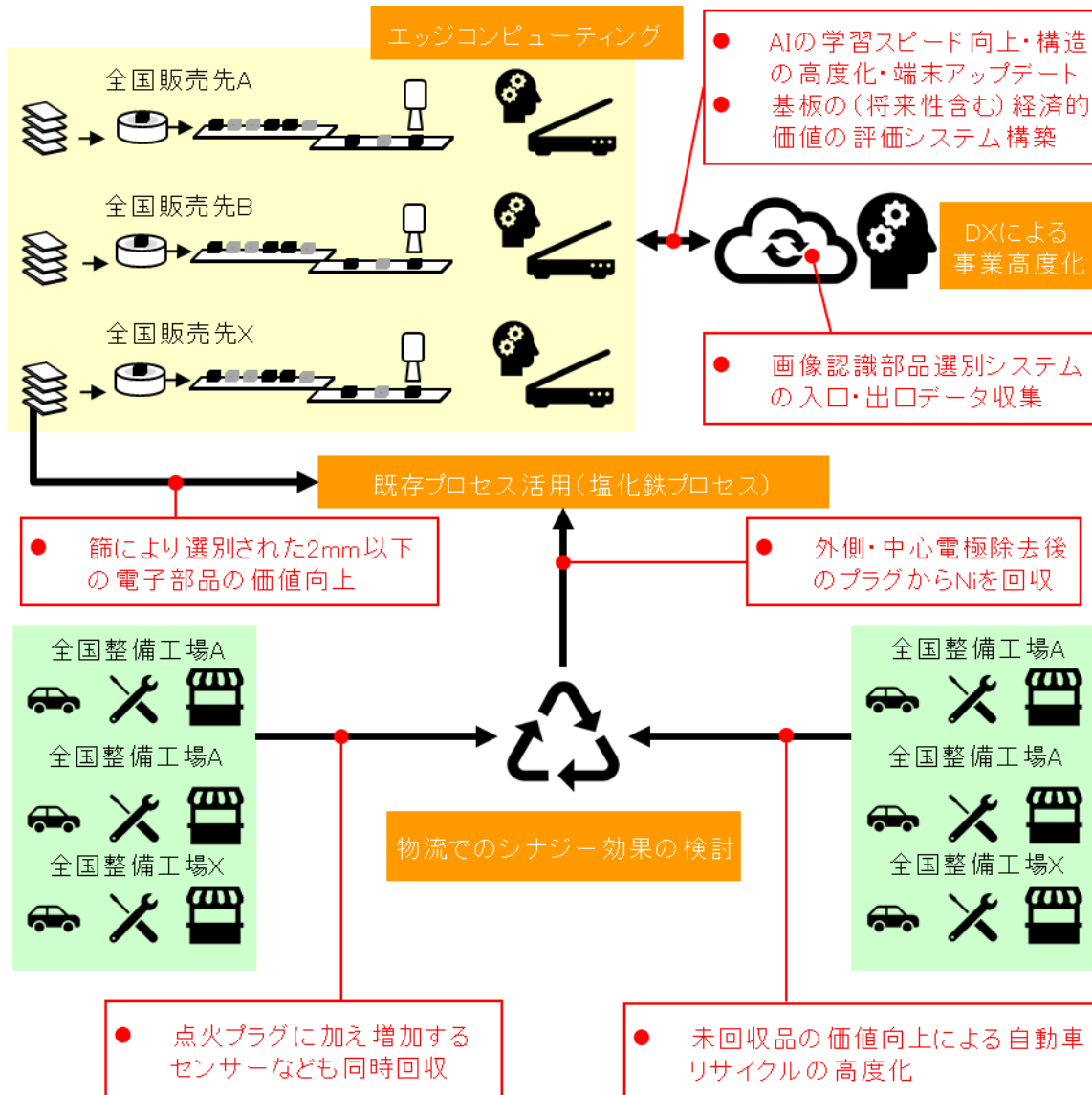


図 75 実証技術の将来イメージ

#### 3.4.2. 普及見通し

##### 1) 着火プラグ・O2 センサー

##### (1) 2021 年

2022 年からの商用化開始を目標とし、技術的な課題および運用上の課題を解決する。

- ① レターパックによる回収の運用確認と、リビルトエンジン会社、大規模整備工場および小規模金業者への回収ネットワークの拡大
- ② 着火プラグから外側電極と中心電極を分離して残る残存物からのニッケル回収量と取引条件の明確化
- ③ 着火プラグ、O2 センサーの資源評価および精錬業者への売却要件の明確化と、それを踏まえた事業計画の策定



## **(2) 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。

## **(3) 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、O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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、O<sub>2</sub> センサー回収量 36 万本、目標売上高 6,000 万円とする。

## **(4) 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、O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> 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、O<sub>2</sub> 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) 2021 年**

2022 年からの商用化開始を目標とし、技術的な課題および運用上の課題を解決する。

- ① 精錬会社の処理方式や地域性等の取引ニーズを踏まえ、8mm よりも大きな電子部品も含めた部品グループへの対応
- ② ビジネスモデルの DX に向けたリサイクルのネットワークインフラ調査と、それを踏まえた IT システムの設計・構築・テスト検証
- ③ IT システム運用コストの明確化と低減の検討、それを踏まえた事業計画の策定

### **(2) 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。

### **(3) 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。

#### (4) 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 76 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 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 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 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 -年間目標、売上高4千万円向上 リサイクル企業に機器販売 -年間目標、2台、売上高1.4億円	実証協力工場を中心に -整備工場200社を想定 -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（10台を見込む） -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 -整備工場2,000社、解体工場300社程度を想定 -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 -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 -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 -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 76 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、さらなる採算性向上につなげるための検討・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により、商業化を見据えた目標値を概ね達成でき、忌避物質であるアルミの脱酸剤として売却可能性を見いだすことができた。着火プラグ、O<sub>2</sub>センサーも治具の開発により PGM 含有部位分離所要時間の短縮と分離コストの低減につながられた。また、レターパックを利用した回収のパイロット実証では、レターパックの有用性を確認できたが、整備工場の規模によっては採算がとれないという課題が明らかになった。

次年度は、本年度までに構築したシステムの拡大に関する実証を行う。電子部品ではまだ AI 画像認識選別システムの対象外の 8mm よりも大きな電子部品に対応するように改良し、最終的には全粒度帯に対応した篩選別器と一体型の装置の作成を目指す。着火プラグ、O<sub>2</sub>センサーについては、大規模、小規模の整備工場およびリビルトエンジン会社へ回収ネットワークを拡大し、それぞれに適した回収スキームの構築を目指す。また、本年度に事業モデルを検討した AI 画像認識選別システムの DX 化について、IT システムを構築し、実運用に向けたテストを実施する。