

平成27年度低炭素型3R技術・システム実証事業

(ASRから材料リサイクルを図る
仕組みづくり)

報告書

平成28年2月29日

豊田通商株式会社

目 次

要 約

1. 背景・目的	1
2. 実施内容	2
2.1 実施項目と内容	2
2.2 実施体制	4
3. 実施結果	
3.1 A S R性状分析	5
3.1.1 A S R利用の手続き	5
3.1.2 再資源化施設A S Rの分析	6
3.1.3 再生プラ分別・回収施設受入A S Rの分析	12
3.1.3-1 破砕粒度大の受入A S R (1)	12
3.1.3-2 破砕粒度大の受入A S R (2)	20
3.1.3-3 破砕粒度小の受入A S R (1)	22
3.1.3-4 破砕粒度小の受入A S R (2)	24
3.2 A S R選別システムの構築	26
3.2.1 現行システム（家電リサイクル対応）運用法の検討	26
3.2.2 夾雑物除去方法の検討	35
3.2.2-1 ゴム除去方法の検討	35
3.2.2-2 木くず除去方法の検討	40
3.2.2-3 A S R選別システム構築の課題	43
3.2.3 ラマン散乱分光法の適用	45
3.3 A S Rの高度分別処理	55
3.3.1 比重差選別処理	55
3.3.2 ラマン散乱分光法処理	67
3.3.2-1 ラマンソーターシステム	67
3.3.2-2 ラマンソーター実証試験	77
3.3.2-3 ラマンソーターまとめ	82

3.4	回収プラスチックのリサイクル可能性検討	85
3.4.1	回収プラスチックの物性試験	85
3.4.2	回収プラスチックの残留夾雑物分析	88
3.5	ASRの材料リサイクルに伴う二酸化炭素排出量抑制評価	90
3.5.1	評価モデル	90
3.5.2	評価	94
3.6	ASRの材料リサイクルに伴う経済性評価	100
3.6.1	検討対象施設と稼働条件	100
3.6.2	損益分岐点	102
3.6.3	プラスチック回収量・単価の検討	104
3.6.4	損益評価	106
4.	本事業の成果	109
5.	今後の要検討項目	113
付録		
	添付資料ー1 近畿大学受託研究報告書	116

要 約

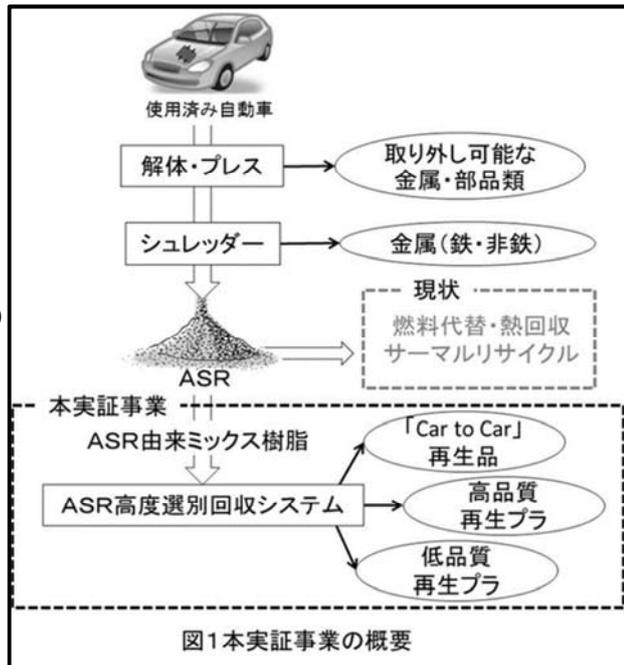
実証事業の概要

背景と目的

使用済み自動車は、自動車リサイクル法に基づき年間 343 万台（平成 25 年実績）処理されている。これらは、解体・スクラップ化され、部品や金属が回収されるが、その最終段階で約 186 Kg/台、全体で約 59 万トン/年が自動車シュレッダーダスト（Automobile Shredder Residue, 以下「ASR」と記載。）として排出される。

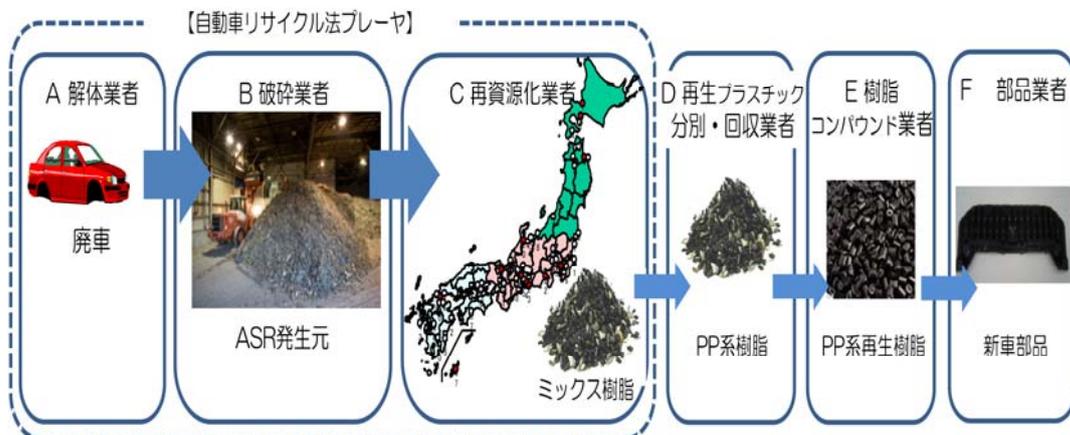
ASRの中には 30%以上のプラスチック（主として硬質のもの）が含まれるが（平成 22 年度環境省請負業務結果報告書「自動車破砕残さにおける性状把握調査業務」）、現状、ほとんどが燃料代替や熱回収（サーマルリサイクル）として処理されている。

本実証事業では、使用済み自動車処理で発生する ASR からマテリアルリサイクル可能なプラスチックを選別回収する仕組みづくりを目的とした。



実証事業成果

本実証事業では、A 解体業者 B 破砕業者 C 再資源化業者 D 再生プラ分別回収業者 E コンパウンド業者 F 部品業者の一貫フローの中で、ASRに含まれるプラスチックに関する材料リサイクルを図る仕組みづくりの事業化検討を行った。



1) A S R 性状分析 (再資源化施設 A S R の分析)

国内 5ヶ所の再資源化業者の A S R について、組成分析を行い、破碎施設から持ち込まれる A S R 中のプラスチック含有率は、30wt%弱から 40wt%程度である事が分かった。また、処理工程において、機械選別工程のみの施設では A S R 含有樹脂比率は約 80%まで高めており、一方、手選別工程と機械選別工程を組み合わせた施設では、樹脂比率は 70%~100%としていることが分かった。

2) A S R 性状分析 (再生プラ分別・回収施設受入 A S R の分析)

再資源化施設からの A S R 中に含まれる夾雑物除去を手選別作業が可能な粒度の A S R について行い、樹脂含有比率を 70%から 99%にまで高めることができたが、投入人工が多く、事業性の観点から夾雑物除去装置などによる除去工程効率化の必要性を認識した。

受入 A S R に含まれるプラスチックの種別を分析して、P P が主体である結果を得た。水比重及び重液比重で分別した場合、分別部分の各々に含まれる P P の比率は、a) 水比重浮き成分：90wt%、b) 重液比重浮き成分；79wt%、c) 重液比重沈降成分；40wt%である結果が得られた。

回収される P P には添加剤タルクが多く含まれており、タルクなしの純粋 P P は、a) 水比重浮きの P P に 56wt%含まれている事が分かった。A S R の今後の高度分別処理における、タルク含量毎の分別目標設定に関する知見を得ることが出来た。

3) A S R 選別システムの構築

廃家電由来の混合プラスチック処理工程に A S R 含有の夾雑物除去を組み込んで構築する A S R 処理工程に関して、破碎粒度の大・小に応じた夾雑物除去方法の創出、水比重差選別による SS 除去・水質管理が重要であることを認識した。

4) 比重差選別処理 (マテリアルバランス)

再資源化施設からの A S R を水比重・重液比重選別の処理工程に投入して、選別処理に係わるマテリアルバランスデータを得ることが出来た。代表的なマテリアルバランスとして、水浮きプラスチック；44wt%、重液浮きプラスチック；22wt%、重液沈降プラスチック；26wt%、風選・篩・散逸など；8wt%の結果が得られた。

5) 比重差選別処理 (選別精度)

水比重選別の水浮き成分として約 60wt%の添加剤タルクを含まない P P が回収されることを確認できたが、本来、水沈降となるタルク含量 20%以上の P P が水浮き成分に混入した結果となり、水比重選別装置の水質管理により、選別精度の維持向上に努める必要性が認識された。

また、重液比重選別の浮き成分は比重 1.0~1.07 の範囲を回収するものであるが、本来回収されるべきタルク含量 20%~30%未満 P P 割合が約 48%~56%となっており、重液比重選別においても、精度向上の向上が認識された。

6) 比重差選別処理（臭素系難燃剤対策）

透過型 X 線分析装置により、臭素系難燃剤（Br）を検知する作業を行ない、水比重選別・重液比重選別の各々の部位に含まれる Br 濃度に対する次の知見を得た。

水浮きプラスチック；Br 検知無し

重液浮きプラスチック；採取サンプルの Br 濃度：20.94ppm~54.75ppm

重液沈降プラスチック；採取サンプルの Br 濃度：176.44ppm

7) ラマン散乱分光法処理

プラスチック種別とタルク添加剤含量が既知の黒色プラスチック試験片のラボ試験を行い、スペクトル強度と頻度分布の関連から分別の閾値データを取得した。この知見をもとに分別実証試験を行ったところ、次に示すような結果が得られた。

PP のみで構成された混合プラスチックでタルク含量比率が異なるプラスチックを対象にした試験では、タルクなし PP~タルク 20%以下含有 PP までの回収を期待する分別であったが、20%以上含有 PP の混入も多く改善が必要な結果となった。

PP、ABS、PS、PPO、ASA で構成されたプラスチックを対象に、PP 回収目的の閾値で分別を行い、打落し側に PP の相対的な増量が認められ、通過側は ABS の相対的な濃度凝縮が認められた。

8) 回収プラスチックのリサイクル可能性検討

分別・回収業者からのプラスチックについて、一軸押し出し機によるペレット製造と、材料試験片による材料物性試験を行った。

ゴム夾雑物残量 10%を含むプラスチック原料に関しては、ゴム夾雑物残量が多く、リペレット化が困難であり、材料物性も適用範囲外のものとなった。

破碎粒度 100mm 以上の ASR から手選別回収したプラスチックについては、安定的なプラスチックストランド引きが可能であり、材料物性もバージン材に対して曲げ強度、引張強度について 20%~30%の低減はあるが、再生使用の見通しが得られた。

9) ASR の材料リサイクル化に伴う二酸化炭素排出量抑制効果

本実証事業での知見として、ASR 1 トンあたりの含有プラスチック（約 34%）の半分（約 170kg）が材料リサイクル可能と判断した。これをもとに、バージン材製造代替えとして削減される CO₂ 排出量を機能単位（ASR 1 トン処理）あたりについて、排出原単位データを用いて評価した。従来のセメント製造原燃料とした場合の総排出量 775kg に対して 274kg の削減可能の結果が得られた。仮に、ASR 1 トンに含まれるプラスチック 340kg 全量がマテリアルリサイクル可能となった場合は、CO₂ 排出量の削減は、617kg となり、この目標に向かって、回収量の拡大が今後の課題である。

1 0) A S R の材料リサイクル化に伴う経済性評価

本実証事業に用いた施設（設備投資不要）を A S R 由来プラスチックの分別・回収事業に適用する場合、年間処理能力（1 シフト：3,900 トン/年）で高品位グレードプラスチックが単価 50¥/kg で売却出来れば、営業利益確保は可能である。

本実証事業に用いた施設と同等の施設を新規設備投資で設置する場合、

高品位グレードプラスチック単価 50¥/kg の場合、2 シフト（7,800 トン/年）操業で 3 年目から単年度黒字化が可能である。

高品位グレードプラスチック単価 80¥/kg の場合、1 シフト操業でも 3 年目から単年度黒字化が可能である。

1 1) 実証事業の成果

本実証事業により、破碎業者、再資源化業者、再生プラスチック分別・回収業者の各々における A S R 中のプラスチック含量の現状を把握することが出来たが、夾雑物除去の機械処理が未だ不十分であることが認識された。

しかし、手選別作業により夾雑物を含まない A S R 由来プラスチックを原料とした樹脂コンパウンド業者での材料物性試験の結果では、再生利用の可能性が見出された。

また、ラマンソーターによるタルク含量別の P P 分別については、分別の閾値設定に関する知見を得ることが出来た。しかし、分別対象物に対する適正なレーザー照射時間設定などの最適化運転条件の設定には至らなかった。

1 2) 今後の必要な検証項目

A S R 中の夾雑物除去率を高めるために、a) A S R 破碎粒度に応じた設備の創出、b) 人手作業の負荷を下げた効率的な手選別除去工程の創出等を行い、有効性を検証する作業が必要である。

ラマンソーターの A S R 黒色プラスチックへの最適運用条件（レーザー照射時間の設定など）の評価検証が必要である。

A S R プラスチックリサイクル技術確立のため、a) ラマン識別装置について数値解析手法等によるノイズ管理の確立、b) リサイクル材料の品質管理手法の確立などに係る技術検証を進める必要がある。

Summary

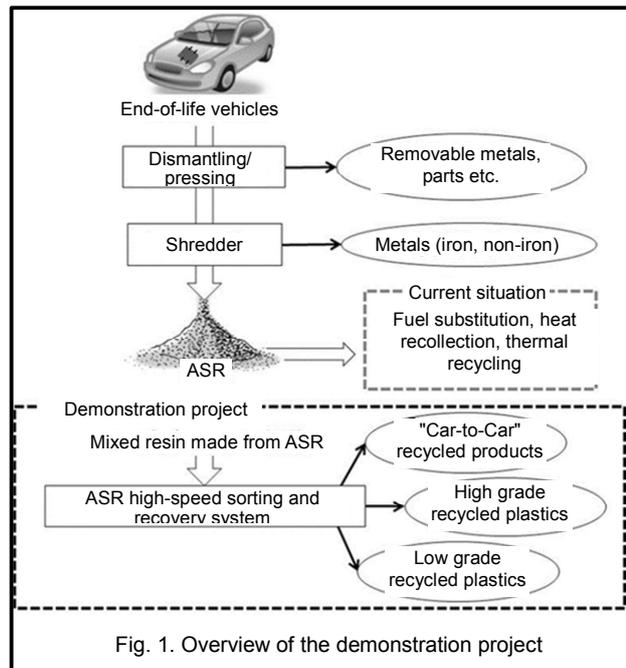
Overview of the demonstration project

Background and purpose

Annually, 3,430,000 end-of-life vehicles are disposed of in compliance with the Act on Recycling, etc. of End-of-Life Vehicles (figure for 2013). These vehicles are dismantled and scrapped to recover parts and metals, and in the final stage, about 186 kg/car, or about 590,000 tons/year overall, of automobile shredder residue (ASR) is discharged.

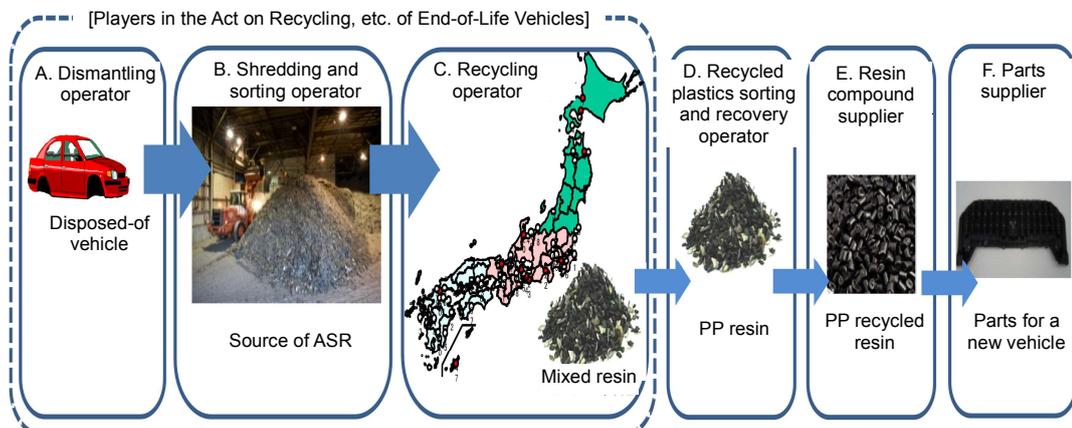
Plastics (mainly hard plastics) account for over 30% of ASR ("Investigation of the Properties of Automobile Shredder Residue," a FY 2010 report on the results of contracted work with the Ministry of the Environment), and most of these are currently used as fuel substitutes or in heat recollection (thermal recycling).

The purpose of this demonstration project is to construct a system which sorts and recovers from ASR generated in the disposal of end-of-life vehicles plastics to which material recycling can be applied.



Results of the demonstration project

In this demonstration project, an investigation was conducted into the commercialization of constructing a system for recycling materials related to plastics contained in ASR, in the course of the following integrated flow: (A) dismantling operator -> (B) shredding and sorting operator -> (C) recycling operator -> (D) recycled plastic sorting and recovery operator -> (E) compound supplier -> (F) parts supplier.



- 1) Analysis of ASR properties (Analysis of ASR generated from recycling facilities)

As a result of composition analysis conducted on ASR generated from five domestic recycling operators, it was found that the plastic content in ASR brought in from shredding and sorting facilities was between 30wt% to 40wt%. In addition, in facilities which only use mechanical sorting in the treatment process, it was found that the percentage of resin contained in ASR increased to about 80%. On the other hand, in facilities which use both manual sorting and mechanical sorting, the percentage of resin was found to be 70% to 100%.
- 2) Analysis of ASR properties (Analysis of ASR received at recycled plastic sorting / recovery facilities)
 - (1) While it was possible to improve resin content from 70% to 99% after removing the contaminants from the ASR the granularity of which makes manual sorting possible contained in ASR obtained from recycling facilities, this took a substantial amount of manpower. This led to the realization that there was a need to improve the efficiency of the removal process in terms of operability, for example by using contaminant removers.
 - (2) The analysis of the type of plastic contained in the received ASR showed that PP was the main type. The results showed that if sorting is carried out by specific gravity to water and specific gravity to heavy liquids, the percentage of PP contained in each sorting component will be as follows: a) Component which floats on water:90wt%; b) Component which floats on heavy liquids: 79wt%; c) Component which sinks in heavy liquids:40wt%.
 - (3) A large amount of additive talc is contained in PP. It was found that 56wt% of pure PP without talc is contained in the PP in a) Component which floats on water. These results provided the information with which to establish sorting targets for future advanced sorting processes with regard to talc content.
- 3) Construction of an ASR sorting system

It was recognized that the following two matters were important in constructing an ASR treatment process in which a system to remove contaminants from ASR is incorporated into the treatment process for mixed plastics originating from end-of-life home appliances: (1) Development of a method to remove contaminants according to the shredding and sorting granularity; (2) SS removal and water quality management, by sorting by means of differences in specific gravity to water.
- 4) Process for sorting by difference in specific gravity (Material balance)

We were able to collect material balance data for the sorting process by feeding ASR obtained from recycling facilities into processes for sorting by specific gravity to water / specific gravity to heavy liquids. The following results were gained as a typical material balance: (1) Plastics which float on water:44wt%; (2) Plastics which float on heavy liquids: 22wt%; (3) Plastics which sink in heavy liquids: 26wt%; (4) Wind winnowing / sieving / dissipation, etc.:8wt%.
- 5) Process for sorting by difference in specific gravity (Sorting accuracy)
 - (1) It was confirmed that about 60wt% of PP without additive talc was recovered as the component which floats on water in sorting by specific gravity to water. However, this result revealed the fact that PP with a talc content of 20% or more, which should basically sink in water, was mixed into the component which floats on water. From this result, the necessity of improving sorting accuracy by

managing the water quality of equipment for sorting with specific gravity to water was understood.

- (2) In addition, a floating component with specific gravity of 1.0 to 1.07 should be recovered from sorting by specific gravity to heavy liquids. However, the results showed that the percentage of PP with a talc content of 20% to 30%, which should have been recovered, was about 48% to 56%. From this, the necessity of improving the sorting accuracy for sorting by specific gravity to heavy liquids was also understood.

6) Process for sorting by difference in specific gravity (Countermeasure for brominated fire retardants)

Detection of brominated fire retardant (Br) was performed using a transmission X-ray analyzer, and the following information was obtained about the Br concentration contained in each component of sorting by specific gravity to water / specific gravity heavy liquids.

- (1) Plastics which float on water: No Br detected
- (2) Plastics which float on heavy liquids: Br concentration of collected sample: 20.94 to 54.75 ppm
- (2) Plastics which sink in heavy liquids: Br concentration of collected sample: 176.44 ppm

7) Raman scattering spectroscopy process

A lab test was conducted on test pieces of black plastic whose plastic type and talc additive content were known, and sorting threshold data was obtained from the relationship between spectrum intensity and frequency distribution. The following results were obtained from sorting verification tests conducted on the basis of this information.

- (1) In tests in which plastics with different talc content percentages were targeted among mixed plastics consisting only of PP, sorting was expected to recover PP ranging from PP with no talc to PP containing 20% talc or less. However, a large amount of PP containing 20% talc or more was mixed in, which indicated the necessity of significant improvement.
- (2) Plastics composed of PP, ABS, PS, PPO and ASA were sorted using the threshold for PP recovery. A relative increase in PP was recognized on the crashing side, and a relative density condensation of ABS was recognized on the passing side.

8) Reviewing the recyclability of recovered plastics

Pellet production using a single-screw extruder and material properties testing using material test pieces were performed on plastics from the sorting and recovery operators.

With regard to plastic raw materials with a rubber contaminant content of 10%, the high rubber contaminant content made re-pelletizing difficult, and the resulting material properties were outside the applicable range.

Plastic strands could be stably extended, and even with degraded material properties such as a 20 to 30% reduction in bending and tensile strength compared to virgin materials, the potential for recycling was confirmed.

9) Suppressing effects on carbon dioxide (CO₂) emissions accompanying recycling ASR as materials

From the demonstration project, it was determined that about a half (about 170 kg) of the plastics contained in a ton of ASR (about 34%) were recyclable as materials. On the basis of this, the amount of CO₂ emitted per functional unit (treatment of 1 ton of ASR)

which would be reduced through use as an alternative to virgin material production was evaluated using emission intensity data. The results indicated that emissions could be reduced by 274 kg compared with the conventional use as raw materials and fuel for cement production, for which the total amount emitted is 775 kg. Hypothetically, if all 340 kg of the plastics in a ton of ASR could be recycled as materials, the reduction in CO₂ emissions would be 617kg. Increasing the recovery rate to this goal will be the next challenge.

10) Economic evaluation accompanying recycling ASR as materials

If the facilities used in this verification project (for which no investment in facilities was required) are used for the business of sorting and recovering plastics originating from ASR, operating profits can be secured if high grade plastics can be sold at a unit price of 50 yen/kg at an annual capacity of 3,900 ton/year (1 shift).

If a new facility with an equivalent capacity as those used in this demonstration project is established through investment, the following will be the case:

- (1) If the unit price of high-grade plastics is 50 yen/kg, then with a 2-shift operation (7,800 ton/year), profitability on a single-year basis will be possible starting from the third year.
- (2) If the unit price of high-grade plastics is 80 yen/kg, then profitability on a single-year basis will be possible starting from the third year even with a 1-shift operation.

11) Results of the verification project

- (1) Through this verification project, we were able to apprehend the current situation with regard to the plastic content of ASR generated at each shredding and sorting operator, each recycling operator and each recycled plastic sorting and recovery operator, and also to recognize that a processing by machines for removing contaminants was still inadequate.
- (2) However, the possibility of recycling was found as a result of material properties testing at a resin compound supplier using as raw materials plastics originating from ASR which were without contaminants as a result of manual sorting.
- (3) In addition, information for setting sorting thresholds was obtained for the sorting of PP by talc content using a Raman sorter. However, the results did not go as far as establishing optimal operation conditions, such as laser irradiation times appropriate for the target sorting materials.

12) Future review requirements

- (1) In order to improve the rate of contaminant removal for ASR, work on verifying effectiveness is required, including a) the development of facilities according to ASR shredding and sorting granularity, and b) the development of efficient manual removal processes, by reducing the burden of human operation.
- (2) Evaluation and testing of optimal operating conditions (laser irradiation times, etc.) for ASR black plastics of Raman sorters will be required.
- (3) Establishing ASR plastics recycling technology will require moving forward with the testing of technology pertaining to a) the establishment of noise management for Raman identification equipment by methods such as value analysis, and b) the establishment of quality management methods for recycled materials.

1. 背景・目的

使用済み自動車は、自動車リサイクル法に基づき年間 343 万台（平成 25 年実績）処理されている。これらは、解体・スクラップ化され、部品や金属が回収されるが、その最終段階で約 186 Kg / 台、全体で約 59 万トン / 年が自動車シュレッダーダスト（Automobile Shredder Residue, 以下「ASR」と記載。）として排出される。ASR の中には 30% 以上のプラスチック（主として硬質のもの）が含まれるが（平成 22 年度環境省請負業務結果報告書「自動車破砕残さにおける性状把握調査業務」）、現状、ほとんどが燃料代替や熱回収（サーマルリサイクル）として処理されている。（図 1 参照）

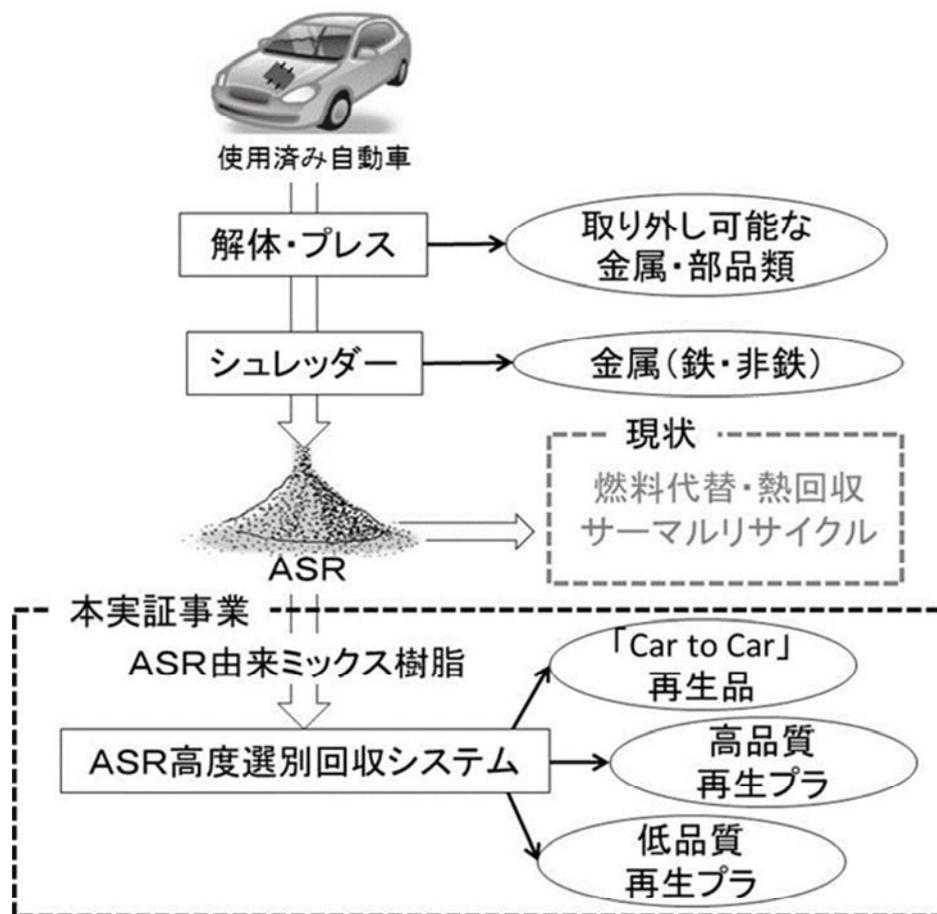


図1本実証事業の概要

「循環型社会」を目指し、より高度なリサイクルが求められる中、使用済み自動車からプラスチック製部品を回収するだけでなく、ASR に混じるプラスチックまでも再商品化可能な資源として回収する必要性が高まっている。

本実証事業では、使用済み自動車処理で発生する ASR からマテリアルリサイクル可能なプラスチックを選別回収する仕組みづくりを目的としている。

2 . 実施内容

2.1 実施項目と内容

実施項目は次の通りとした。

1) A S R 性状分析

現状で発生している ASR においては、プラスチックの含有量に関してだけでも多様なミックス樹脂が想定される。実証事業に協力する再資源化施設 5 ヶ所を選定し、現状での詳細な処理プロセスにつきヒアリングすると共に、そこから排出される ASR 及び ASR 由来ミックス樹脂の性状を調査した。

再資源化施設から再生プラ分別・回収施設に排出されるプラスチックリッチな ASR は、破碎粒度の大きなもの（35mm~100mm 超）と破碎粒度の小さなもの（~15mm 程度）がある。破碎粒度の大きなものに関しては、再生プラ分別・回収施設での手選別により夾雑物除去作業を行い、プラスチック含量を高める操作を行うものとした。破碎粒度の大小ともに、機械選別を行う前に、夾雑物含有量をサンプリングにより確認すると同時に、赤外分光分析装置による含有プラスチックの種別判定、及び蛍光 X 線分析装置による添加剤含有量についても確認評価を行った。

2) ASR 選別システムの構築

(株)サイムの家電リサイクルプラスチック選別回収システムはラマン識別技術を採用し、高い選別純度を達成している。これをベースとして、ASR の選別回収法として適用することとした。

先行研究により選別回収した ASR 由来プラスチックの再生処理工程で、ゴムと木片の含量が極微量であるにも関わらず大きな障害となることが明らかになっている。これら夾雑物の除去方法を検討して一部装置を組み込んで、その効果を実証することとした。

ASR のプラスチックはほとんどが黒色で、家電由来の白いプラスチックに比べ信号は弱くなる。開発中の高性能ラマン装置を適用して、PP , PS といったプラスチックの種類その他、増量剤である無機物のタルク含量による検出スペクトル特性から識別処理を行うものとした。

3) A S R の高度分別処理

選別回収工程は、次の通りである。

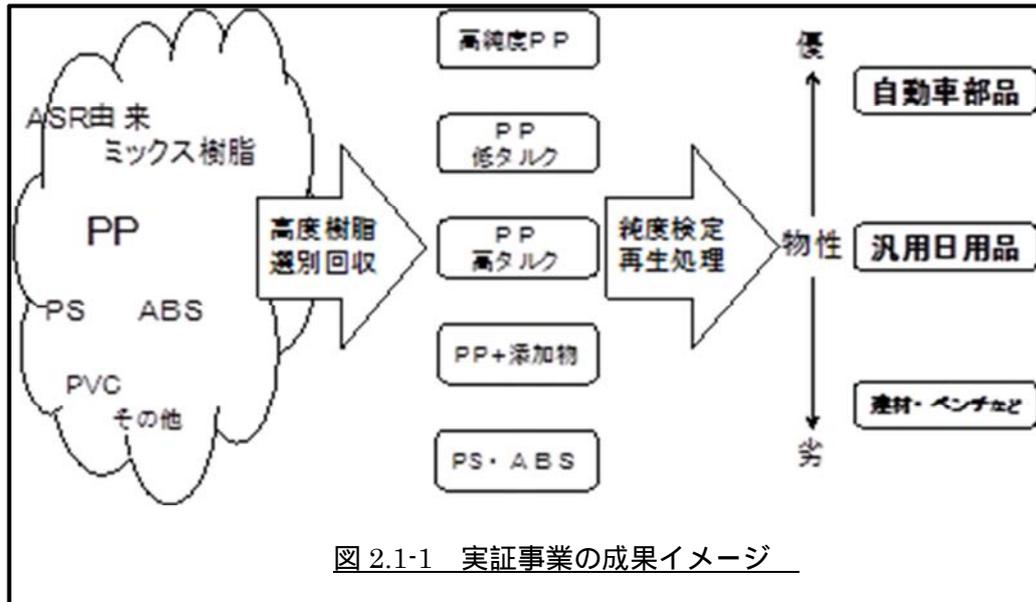
風力選別・ゴム片除去装置・木片除去装置などによる夾雑物除去、
水比重（比重 1.0）による PP（高純度）/PP（低タルク）と PP（高タルク）/PP（添加物）/PS・ABS の選別、
ラマン識別による PP（高純度）と PP（低タルク）の選別、
軽比重液（比重 1.07）による PP（高タルク）/PP（添加物）と PS・ABS の選別、

ラマン識別などの光学識別による PP（高タルク）と PP（添加物）の選別である。

選別回収されたプラスチックは、赤外分光分析装置並びに蛍光 X 線分析装置により、プラスチックの種別判定並びに添加剤含有量の同定を行うものとした。

4) 回収プラスチックのリサイクル可能性検討

本実証事業は、図2.1-1に示す成果をイメージした。



ASR由来プラスチックリサイクルにおいて、その産業的な実施が環境負荷低減に寄与し経済的に大きな波及効果を与えるには、水平リサイクル、すなわち回収プラスチックを自動車部品の原料に再利用する「Car to Car」リサイクルを目指すのはもちろんであるが、水平リサイクルだけでなく、ASRから回収されたプラスチックをできるだけ多く有効に再利用する方策につき検討する必要がある。

このため、選別回収プラスチックがどのような材料特性を有するか、プラスチックの物性特性試験を行うとともに、材料試験片製造段階のリペレット生産の段階での押し出し機目詰まり状況などの把握を通して、生産性確認試験を行う事とした。

5) ASRの材料リサイクルに伴う二酸化炭素排出量抑制評価

CO₂排出量の評価については、いわゆるライフサイクルアセスメント（LCA）の手法を用いてCO₂削減量を算出する。学術論文（酒井伸一他、「自動車破碎残渣（ASR）の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント」、廃棄物資源循環学会論文誌, Vol23, No6, pp.264-278, 2012.）や実証試験報告書（環境省平成25年度自動車リサイクル連携高度化事業）において、ASRの場合のLCAシナリオと個別プロセスのCO₂排出量評価がなされているので、それに準じて今回の実証事

業のCO2削減量を算出する。「本実証事業でのLCAシナリオ」に従って、リサイクルシステムへの投入ASR量、回収プラスチック量、その成分別の内訳、回収しきれない残渣量、電気使用量といった諸量を求め、原単位データに基づき評価することとした。

6) ASRの材料リサイクル化に伴う経済性評価

本実証事業で実施する高純度PPを含む5段階品質での選別回収は、ASRからのプラスチック回収率の向上や「Car to Car」といった高付加価値リサイクルを可能にし、リサイクル事業の経済性改善が期待できる。

従来、代替燃料の位置付けで、製紙燃料やセメント助燃剤として逆有償処分物であったASRの中から、有償売却品としてのプラスチックリッチ成分を抽出すること自体、再資源化事業者においては、収益改善につながる。

また、プラスチックの再生事業者においては、ほぼゼロ円に近い仕入れコストで¥80~100/kgで販売できるように再生プラスチック原料を製造することは、設備投資との関係でビジネスモデル成立の期待が可能である。設備投資と試験回収年、人件費、動力費、仕入れ費、売却収益をもとに、最終損益評価を行い、経済性評価を行う事とした。

2.2 実施体制

本実証事業の実施体制を役割分担とともに、図2.2-1に示す。

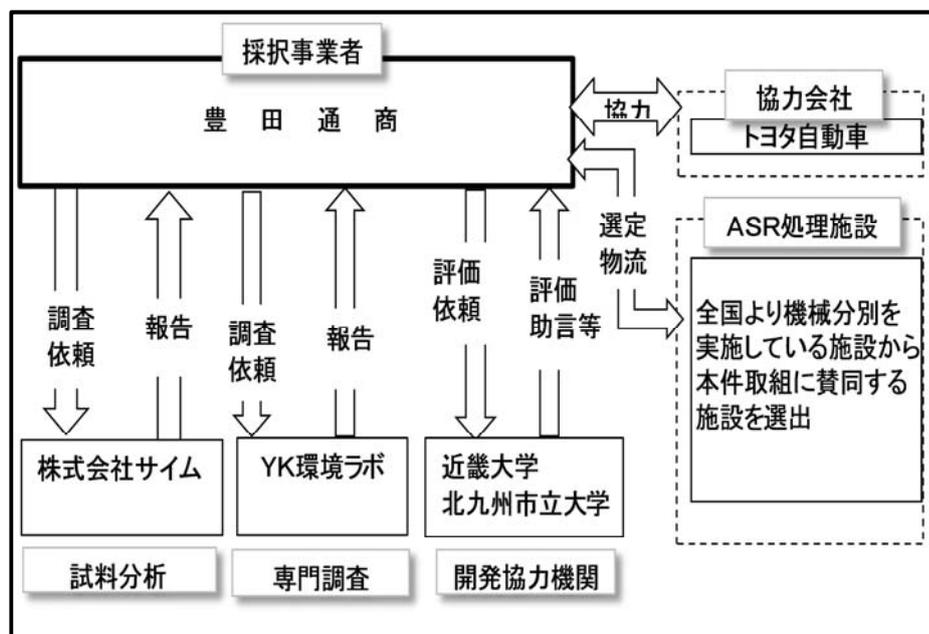


図 2.2-1 実施体制と役割分担

3．実施内容

3.1 A S R 性状分析

本章では、まず「3.1.1」においてA S Rの移動に関する手続きを、次に「3.1.2」において破砕施設から再資源化施設に持ち込まれるA S Rの性状分析結果を述べる。最後に、「3.1.3」においては、再資源化施設から再生プラ分別・回収施設に持ち込まれるA S Rの性状分析と含有プラスチックの種別分析等について述べる。

3.1.1 A S R利用の手続き

A S R (Automobile Shredder Residue) は、使用済み自動車を破砕後、金属分を除去した残渣であり、自動車リサイクル法により管理されている。

本実証実験にあたっては、経済産業省、環境省から2007年12月13日に提示された指針「A S Rサンプル利用に対する考え方」を受け、A S R共通課題検討WGで策定した「A S Rサンプル利用の運用方法(案)(2008年5月9日改定)に基づき、A S Rサンプルのサンプリングを行った。

サンプルの異動に際しては、T Hチームの管理の下、A S R管理票に基づき、A S Rの移動の申請を合計約200kg依頼し、実際には198.2kgのA S Rの移動を行った。

3.1.2 再資源化施設 A S R の分析

1) サンプルング方法

A S R の試料採取は「平成 22 年度自動車破碎残渣における性状把握調査業務（環境省）」及び「平成 24 年度自動車リサイクル促進調査業務」における調査方法に準じ、以下の内容で作業を実施致した。

- a) 対象の A S R（1 t 程度を想定）を重機等により、試料の全量を 10m × 10m のブルーシート若しくは、同面積のコンクリ面の上に広げ、手作業により攪拌・混合を行う。
- b) 試料の厚みが大凡 30 ~ 50cm となるように広げる。
- c) 対象となる A S R の重量及び破碎物の大きさ（粒度）より、産業廃棄物のサンプルング方法（JIS K 0060）に基づき、採取するインクリメントの大きさ（体積）及び採取個数を確認し、各 A S R について約 3kg の試料を 10 回以上採取混合し、約 30kg の試料を作成する。採取においては、試料の代表性を得るために、シート状に広げた A S R 試料の上部及び下部からそれぞれ採取する。

ただし、試料の性状や現場の状況に応じて、上記の方法でのサンプルングが困難な場合には別途、適切な採取方法を選択して実施した。

表 3.1.2-1 サンプルング状況



各施設のサンプルング状況を表 3.1.2-2 に示す。

表 3.1.2-2 各施設のサンプリング状況

採取事業所	試料全景	採取状況	採取試料
a 施設			
b 施設			
c 施設			
d 施設			
e 施設			

2) A S R 組成の特徴

各施設の A S R 構成物質の分別比較を表 3.1.2-3 (1/2)、(2/2)に示し、A S R 組成分析 (wt%比率) 結果を表 3.1.2-4 に示す。また、株式会社環境管理センターの報告書「平成 22 年度自動車破碎残渣における性状把握調査業務 (環境省)」の表 3-1-3 (P.28) に示されている平成 12 年以降使用済自動車における組成分析の平均データを参考のために表 3.1.2-5 に示す。

組成分析結果の特徴として、下記が挙げられる。

- 1) プラスチック含量は、30%弱から 40%程度であった。
- 2) 金属類含量が 0.7% ~ 3.5%の範囲であり、総じて既往調査の表 3.1.2-5 の 7%に較べて低い。特に、d 施設では、0.7%となっている。
- 3) ゴム夾雑物含量の最大 ; 14%弱、最小 ; 4%弱のバラツキがある。
- 4) 木くず含量は平均的には 1%前後であるが、0.2%と低いところもある。
- 5) 木くず混入の原因は、トラック等の荷台の木製パレット破片や軽トラック荷台の木製敷き部材などが推定される。
- 6) ウレタン (15.2%)、繊維類 (25.7%) と他に較べて、際立って多い施設もある。各々、平均的には、ウレタン ; 8.5%、繊維類 ; 15%。

更に、廃家電処理により回収されている混合プラスチックの素材構成データを表 3.1.2-6 に示す。

- 1) 廃家電由来の混合プラスチックは樹脂量が 75%から 90%弱と多い。
- 2) 基本的には冷蔵庫破碎に伴う混合プラスチックが主体であり、夾雑物としては、ウレタンと金属類、及びパテ材などである。ウレタンは風力選別、金属類は水比重選別で容易に除去可能である。
- 3) A S R は、廃家電由来の混合プラスチックに較べて、雑多な夾雑物材料の集合体であり、材料リサイクル化にあたっては、ゴム、繊維類、木くずなどの夾雑物除去をどこまで効率的におこなう事ができるかが重要な課題となる。

表 3.1.2-3(1/2) 各施設の組成分別結果 (その1)

分類	a 施設	b 施設	c 施設	d 施設	e 施設
プラスチック (主として硬質のもの)					
プラスチック (主としてシート状のもの)					
ゴム					
ウレタン					
発泡スチロール					
繊維類					
紙類					
木類					

表 3.1.2-3(2/2) 各施設の組成分別結果 (その2)

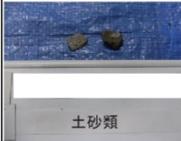
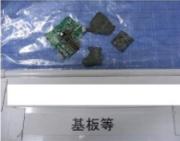
分類	a 施設	b 施設	c 施設	d 施設	e 施設	
金属類	鉄	 金属類 鉄	 金属類 鉄	 金属類 鉄	 金属類 鉄	 金属類 鉄
	非鉄金属	 金属類 非鉄金属	 金属類 非鉄金属	 金属類 非鉄金属	 金属類 非鉄金属	 金属類 非鉄金属
ガラス類	 ガラス類	 ガラス類	 ガラス類	 ガラス類	 ガラス類	
土砂類			 土砂類		 土砂類	
電線類	 電線類	 電線類	 電線類	 電線類	 電線類	
基板等	 基板等	 基板等	 基板等	 基板等	 基板等	
分類不能物					 分類不能物	
5mmの篩いを通過したもの	 5mmの篩いを通過したもの	 5mmの篩いを通過したもの	 5mmの篩いを通過したもの	 5mmの篩いを通過したもの	 5mmの篩いを通過したもの	

表 3.1.2-4 各施設 ASR の組成分析比較

再資源化施設	分類	ゴム	ウレタン	発泡 スチロール	繊維類	紙類	木類	プラスチック	
								シート状	硬質
a	wt(%)	8.0	9.0	0.4	11.4	1.6	0.6	3.0	40.4
b	wt(%)	13.8	8.9	0.3	15.6	0.3	0.2	1.6	34.6
c	wt(%)	7.1	7.8	0.5	17.3	2.3	1.2	6.7	29.6
d	wt(%)	3.9	15.2	0.7	25.7	2.5	1.2	7.9	27.5
e	wt(%)	6.7	7.0	0.2	15.6	1.9	0.9	8.7	29.0

再資源化施設	分類	金属類		ガラス類	土砂類	電線類	基板等	分類 不能物	ダスト等
		鉄	非鉄						
a	wt(%)	2.0	0.9	0.4	0.0	2.1	0.1	0.0	20.3
b	wt(%)	1.1	2.4	0.2	0.0	2.1	0.0	0.0	19.0
c	wt(%)	1.4	1.1	0.1	0.9	1.9	0.4	0.0	21.7
d	wt(%)	0.3	0.4	0.2	0.0	2.0	0.1	0.0	12.3
e	wt(%)	1.6	0.6	1.0	0.3	1.8	0.1	0.5	24.0

表 3.1.2-5 既往研究調査における組成分析（平成 12 以降使用済自動車平均）

分類	ゴム	ウレタン	発泡 スチロール	繊維類	紙類	木類	プラスチック	
							シート状	硬質
wt(%)	8.8	7.7	0.4	11.8	0.4	1.2	5.1	33.4

分類	金属類		ガラス類	土砂類	電線類	基板等	分類 不能物	ダスト等
	鉄	非鉄						
wt(%)	1.0	6.2	0.9	0	2.7	0.2	1.3	18.9

出典；平成 22 年度環境省請負業務結果報告書

自動車破碎残さにおける性状把握調査業務（株式会社環境管理センター）

表 3.1.2-6 廃家電処理による混合プラスチックの組成分析

(単位：%)

N家電RC (ミックスプラ)	PP	PS	ABS	PVC	ゴミ		銅管・配線			合計
					手選ゴミ	風選ゴミ	銅管	配線	金属物	
	48.61	21.63	7.13	4.17		10.22				8.23
合計				81.54		10.22				8.23
K家電RC (ミックスプラ)	白色			31.59						
	雑色			30.96						
	ABS			6.64	15.01	4.92	1.7	2.5	0.5	
	スクリーン下			6.14						
合計				75.33		19.93				4.7
G家電RC (沈降プラ)	白色			41.83						
	黒色			39.5						
	スクリーン下							14.25		
	PVC			5.89						
合計				87.22		0				14.25

出典；廃家電由来混合プラスチックに関する(株)サイム社内分析データ

3.1.3 再生プラ分別・回収施設受入 A S R の分析

3.1.3-1 破碎粒度大の受入 A S R (1)

再資源化施設の b 施設から受入れの A S R の荷受け状態を図 3.1.3-1 ~ 図 3.1.3-3 に示す。

100mm オバ[®]-A S R は、再資源化施設にて手選別回収したものであり、プラスチック以外の夾雑物は含まれていない。

35mm ~ 100mm A S R の (A) は、再資源化施設の水比重選別における浮き成分であり、(B) は沈降成分である。

いずれも夾雑物を含んでおり、夾雑物除去作業を行った。



図 3.1.3-1 100mm オバ[®]-の A S R



図 3.1.3-2 35mm ~ 100mm A S R (A)



図 3.1.3-3 35mm ~ 100mm A S R (B)

図 3.1.3-4 は、夾雑物除去の処理フローを占めすものであり、図 3.1.3-5 はその全景を示す。

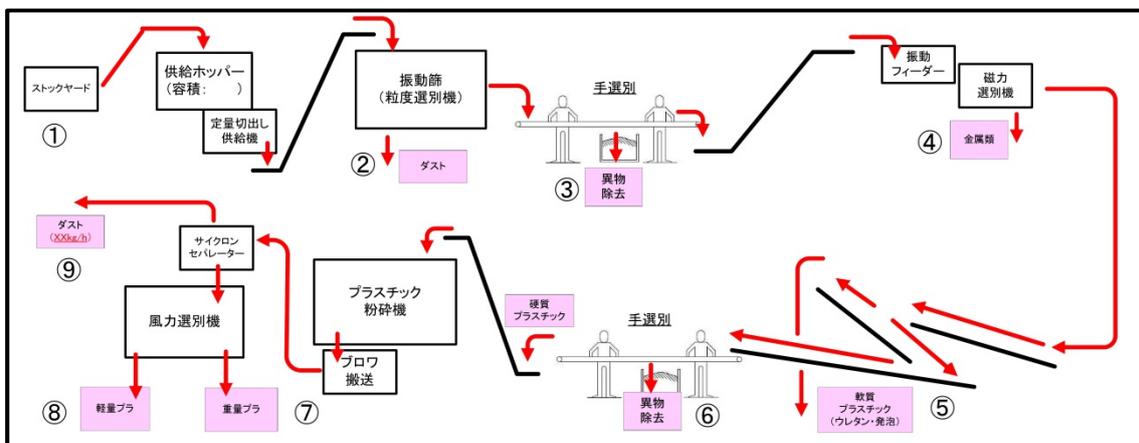


図 3.1.3-4 A S R からの夾雑物除去処理



図 3.1.3-5 A S Rからの夾雑物除去処理フロー全景

図 3.1.3-6 は、夾雑物除去処理フローの中で、手選別で回収された夾雑物であり、木くず（右上）、ゴム（右下）、繊維類はウレタンが付着したプラスチック類などである。



図 3.1.3-6 手選別回収した夾雑物（イ）

図 3.1.3-7 は、同様に手選別回収した配線付着プラスチック等であり、図 3.1.3-8 は、磁力選別機で回収された金属ネジ付着のプラスチックである。



図 3.1.3-7 手選別回収した夾雑物（口）



図 3.1.3-8 磁選機回収したネジ類

35mm～100mm A S Rの水浮成分並びに水沈降成分の各々に関して、夾雑物除去処理をした結果のマテリアルバランスを図 3.1.3-9 に示す。

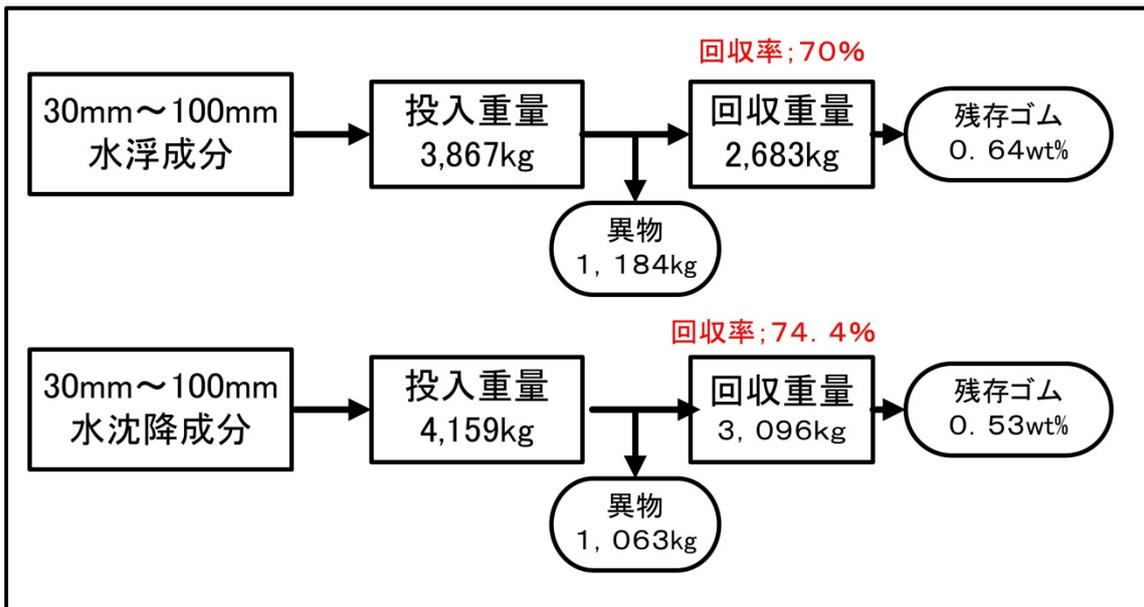


図 3.1.3-9 夾雑物除去処理のマテリアルバランス

破砕施設から再資源化施設に搬入された時点での A S R のプラスチック含有率は、前節に示した組成分析から約 30%～40%程度であり、再資源化施設でのプラスチックリッチ A S R 選別処理をおこなっても、濃度凝縮は 70%から 75%程度である。含有夾雑物 25%から 30%の除去は、現状、手選別に頼らざるを得ない。

図 3.1.3-9 の回収重量中に残存する夾雑物量について、サンプリング抽出により分析した。

図 3.1.3-10 及び図 3.1.3-11 は、目視及び手触りによる方法で夾雑物抽出を行ったものであり、0.5wt%～0.7wt%程度の残存夾雑物が確認された。



図 3.1.3-10 水浮き A S R 由来プラスチック中の残存夾雑物



図 3.1.3-11 水沈降 A S R 由来プラスチック中の残存夾雑物

1) 100mmオーバーのASR (夾雑物不含プラスチック)

粉砕片について、小規模の水比重選別、及び重液比重選別を行い、含有するプラスチックの比重特性比率を確認した。

図 3.1.3-12 に結果を示す。

当該受入ASRの90%弱が比重1.0以下のプラスチックであった。

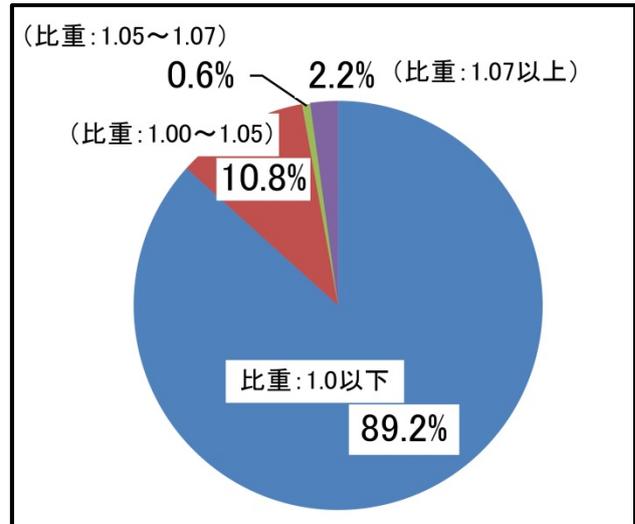


図 3.1.3-12 回収プラスチックの比重割合 (wt%)

2) 35mm~100mm ASR (A) (水浮き) 由来プラスチック

夾雑物除去処理におりプラスチック含有量を高くしたASRから、プラスチック粉砕品サンプルを50サンプル、無作為抽出して、赤外分光分析装置 (IR) により、プラスチックの種別判定を行った。

図 3.1.3-13 は、IRにより登録されているバージンのPP波形と50サンプル中からPPと判定したサンプルの波形比較を示す。

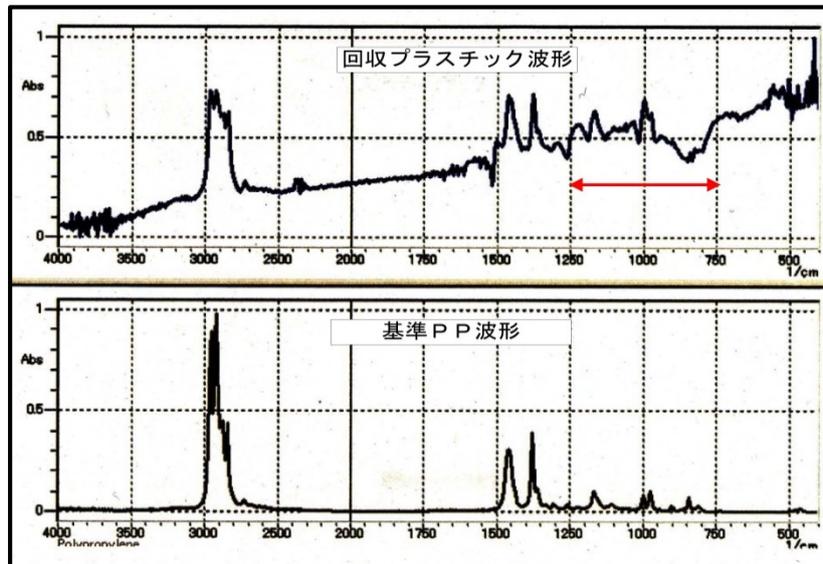


図 3.1.3-13 プラスチック種別PPの判定根拠 (IR分析)

図 3.1.3-14 は、P E と判定したサンプルについての波形比較である。

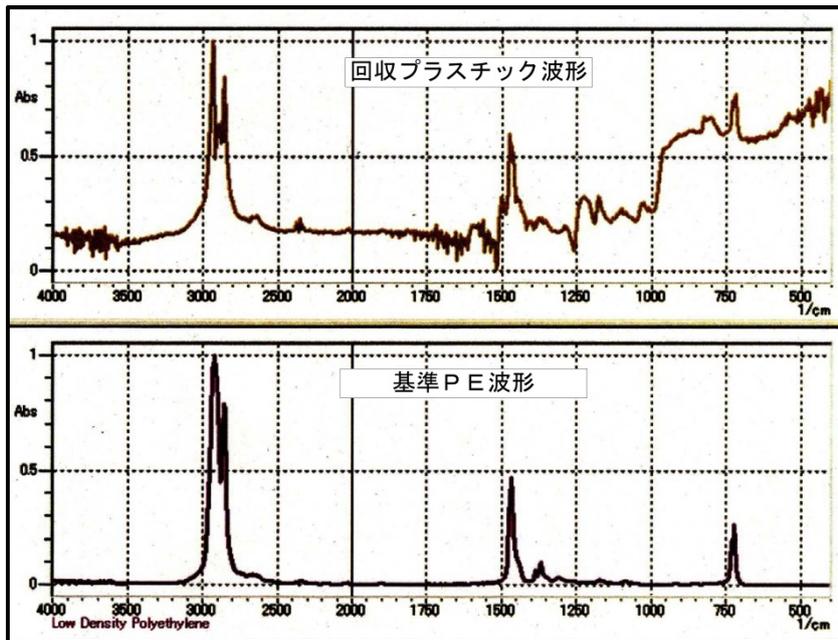


図 3.1.3-14 プラスチック種別 P E の判定根拠 (I R 分析)

35mm ~ 100mm A S R (A) (水浮き) 由来プラスチックのサンプル 50 個の内、42 個が P P , 8 個が P E と判定された。

図 3.1.3-13 の P P スペクトル波形において、朱線で表示した波数エリアには、添加物タルク含有の影響が出ており、I R 波形からタルク含量の定量的な把握が不可能である。蛍光エックス線分析装置により、I R 分析で P P と判定したサンプルの分析を行った。

図 3.1.3-15 は分析結果を示す。

- ・ 添加剤タルク含量ゼロの純粋 P P の含有比率が約 62% であること
 - ・ タルク含量 15% 程度の P P 比重が 1.0 であるため、タルク含量 20% 以上の混入比率が 25% となっており水比重選別精度の向上が必要であること
- の結果が得られた。

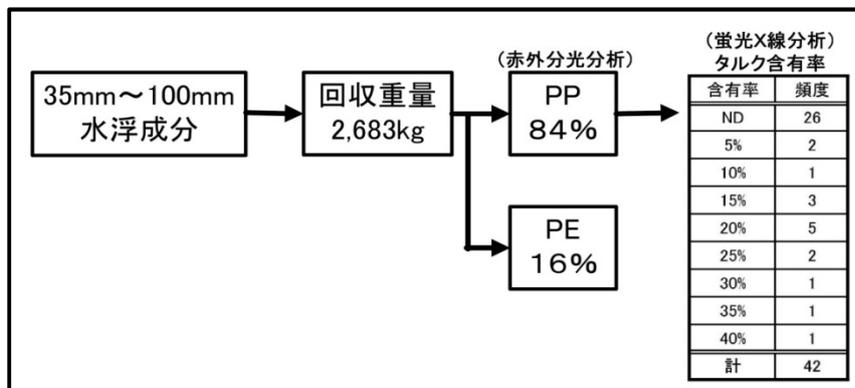


図 3.1.3-15 水浮き A S R 由来プラスチックの分析結果

3) 35mm～100mm A S R (B) (水沈降) 由来プラスチック

35mm～100mm A S R (B) (水沈降、比重 1.0～1.07) 由来プラスチックについて、上記 2) と同様の分析を行った。

分析結果を図 3.1.3-16 に示す。

- ・水比重選別の沈降成分からの P P 回収率は 46% であり、タルク含量 20% 以上が約 91% であること
- の結果が得られた。

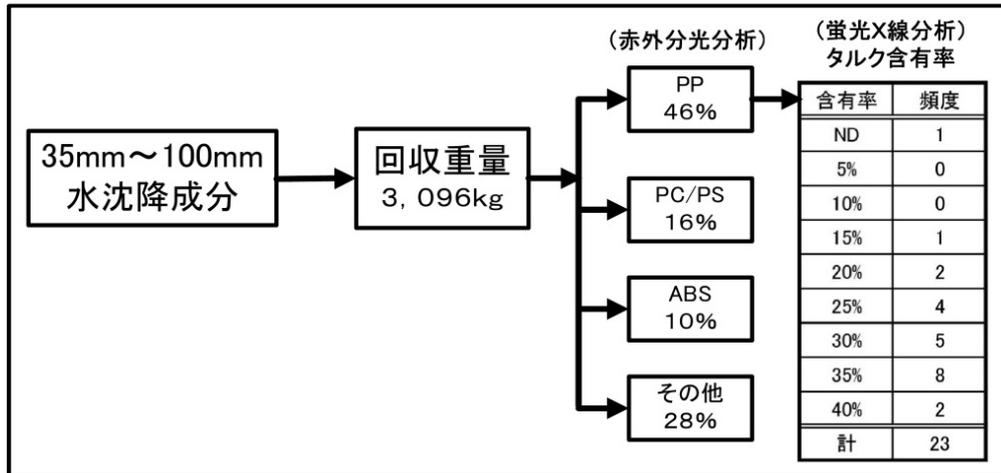


図 3.1.3-16 水沈降 A S R 由来プラスチックの分析結果

さらに、比重 1.07 以上で回収されたプラスチックについて、I R 波形から種別判定を行った。図 3.1.3-17(1)、(2)は種別判定根拠としての I R 波形を示す。

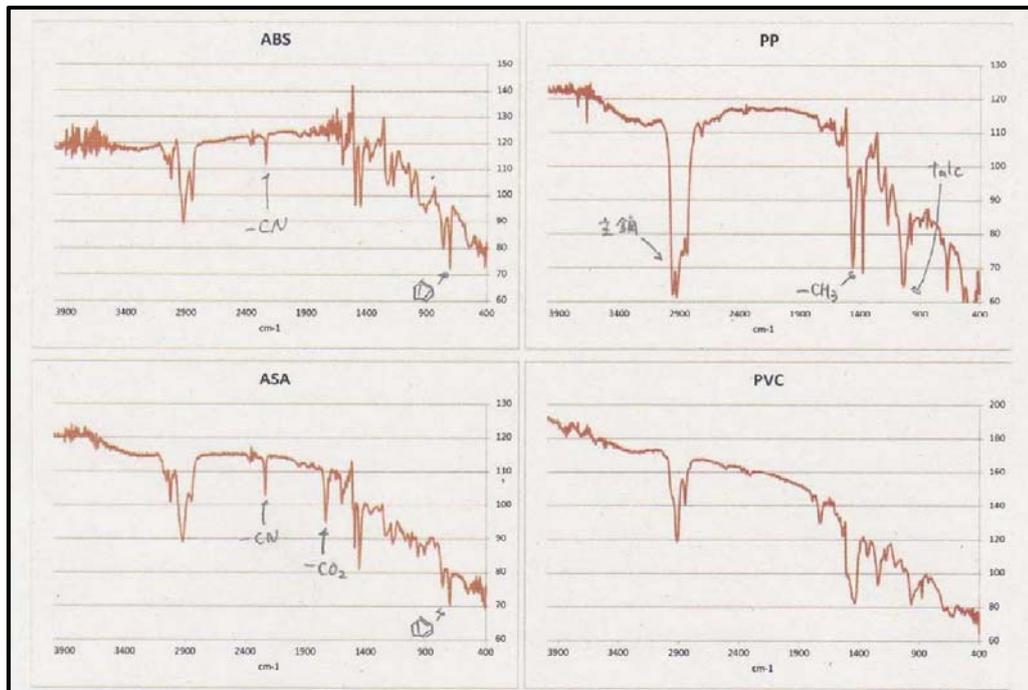


図 3.1.3-17(1) 比重 1.07 以上で回収されたプラスチックの I R 波形 (1)

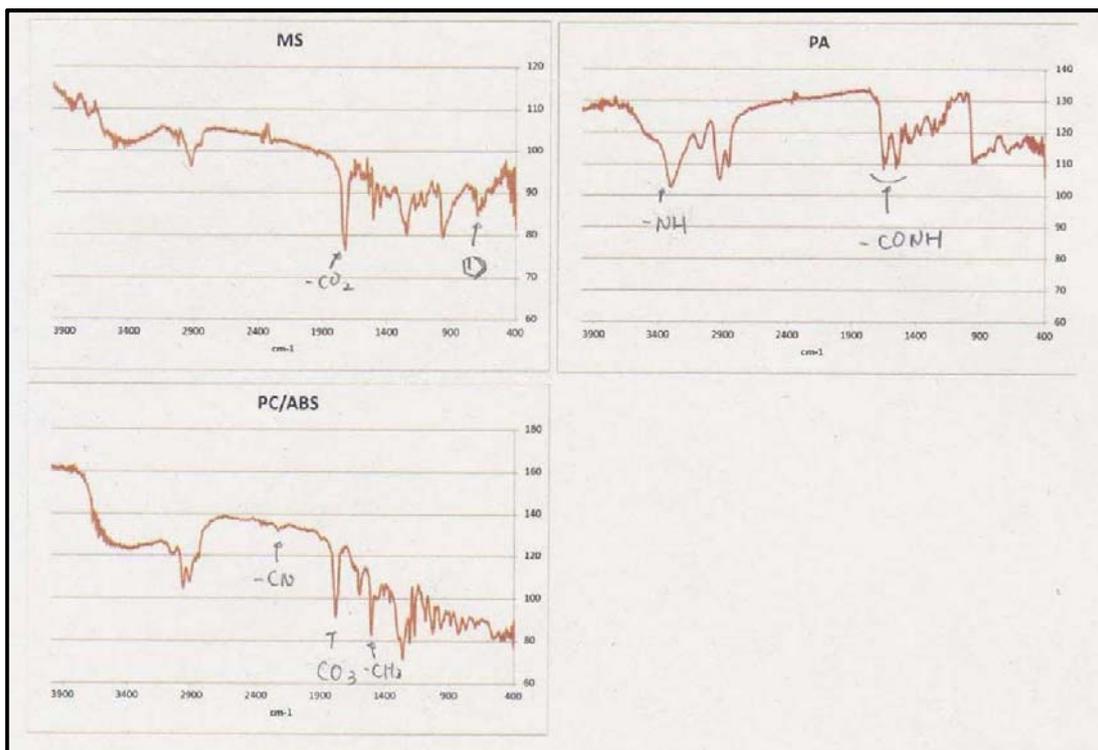


図 3.1.3-17(2) 比重 1.07 以上で回収されたプラスチックの IR 波形 (2)

3.1.3-2 破碎粒度大の受入A S R (2)

再資源化施設のd施設から搬入のA S R 荷姿を図 3.1.3-18 に示す。図 3.1.3-19 は、夾雑物混入状況を示す。混入夾雑物を手選別で分別処理した。図 3.1.3-20 ~ 図 3.1.3-24 は、プラスチック及び混入夾雑物の分別結果である。



図 3.1.3-18 破碎粒度大の受入A S R (2) の荷姿



図 3.1.3-19 破碎粒度大の受入A S R (2) の夾雑物混入状況



図 3.1.3-20 プラスチック



図 3.1.3-21 ゴム



図 3.1.3-22 ウレタン他



図 3.1.3-23 木くず

図 3.1.3-25 に夾雑物混入比率を示す。

再生プラ分別・回収施設に持ち込まれる A S R としては、プラスチックの含有比率が少なく、有償引取りは不可能な状態である。



図 3.1.3-24 金属・配線類

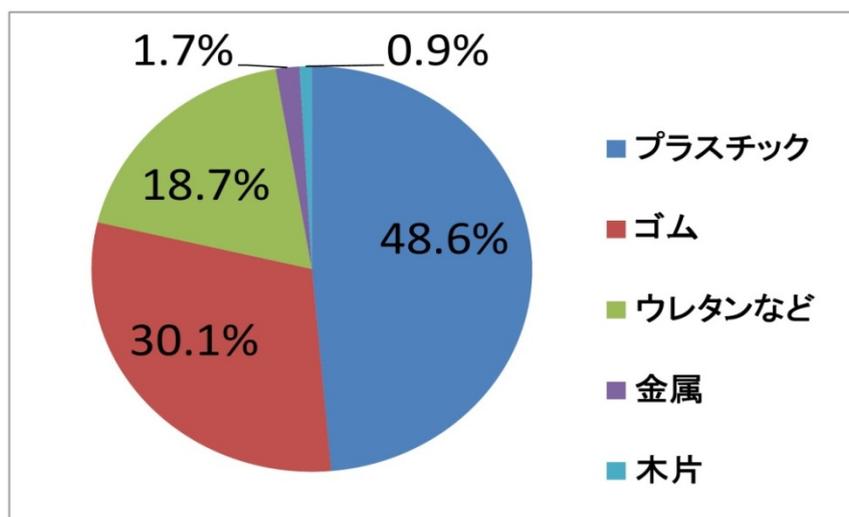


図 3.1.3-25 夾雑物混入比率 (w t %)

3.1.3-3 破碎粒度小の受入ASR(1)

再資源化施設の a 施設から搬入のASRは、破碎粒度が約 15mm アンダーであり、手選別により夾雑物除去を行うことは不可能である。プラスチック以外の夾雑物混入割合をサンプリングにより行った。

表 3.1.3-1 は分析結果を示し、図 3.1.3-26 は分析状況を示す。当該施設は、手選別を行わないフル機械選別であるが、プラスチック含有比率 80.8%までの濃縮が現状であり、夾雑物としてはゴム含有の多い事が特徴であった。

表 3.1.3-1 夾雑物混入比率

含有物	割合(w/w)
プラスチック	80.8%
ゴム	16.3%
絹	1.6%
配線	0.5%
金属	0.2%
木くず	0.2%
ウレタン	0.1%
その他	0.3%



図 3.1.3-26 破碎粒度小の受入ASR 夾雑物混入比率分析

サンプリング抽出した対象物に対して、実験室規模の水比重・重液比重選別を行い含有プラスチックの比重割合を分析した。結果を表 3.1.3-2 に示す。

水浮きプラスチックの回収比率から 50%弱がタルク含量 15%以下のPPと推定される。

表 3.1.3-2 破碎粒度小の受入ASR(1)の比重特性

(単位:wt%)

比重	1.00以下	1.00~1.05	1.05~1.07	1.07以上
比率	46.6	12.9	9.0	31.4

赤外分光分析装置により、含有プラスチックの種別判定を行うと共に、PPについては、蛍光X線分析装置により、添加剤タルクの含有量を分析した。

分析結果を図 3.1.3-27 に示す。

- ・水比重選別により浮きプラスチックで回収されるプラスチックの90%はPPであり、その内約50%は純粋PPである。
- ・水比重選別で沈降するプラスチックに対して、比重1.07の重液比重選別を行えば、重液浮き成分で回収されるPP（タルク含有）は平均的に約80%程度ある。

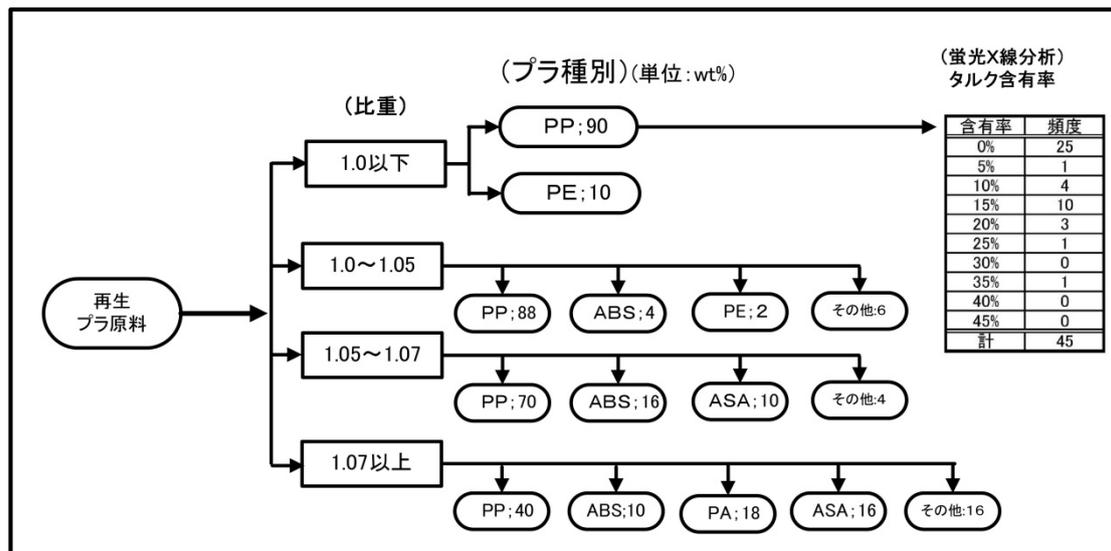


図 3.1.3-27 破砕粒度小の受入ASR(1)の含有プラスチック種別と添加剤タルク含量分析

3.1.3-4 破碎粒度小の受入A S R (2)

再資源化施設のc施設から受入のA S Rを図3.1.3-28に示す。

当該施設は、機械選別の前段に手選別工程を有するものであるが、見た目での夾雑物混入が多い。

また、金属を対象とする1段目の衝撃式破碎機、及びプラスチックを対象とするせん断式破碎機の2段破碎を行っているが、最終的に破碎粒度は、約30mm程度となっており、比較的大きい事が特徴であった。



図3.1.3-28 破碎粒度小の受入A S R (2)の状

含有していた代表的な夾雑物を図3.1.3-29に示す。

手選別除去が可能なほど、粒度の大きな夾雑物であり、効率的な交雑物除去工程による処理の必要がある。

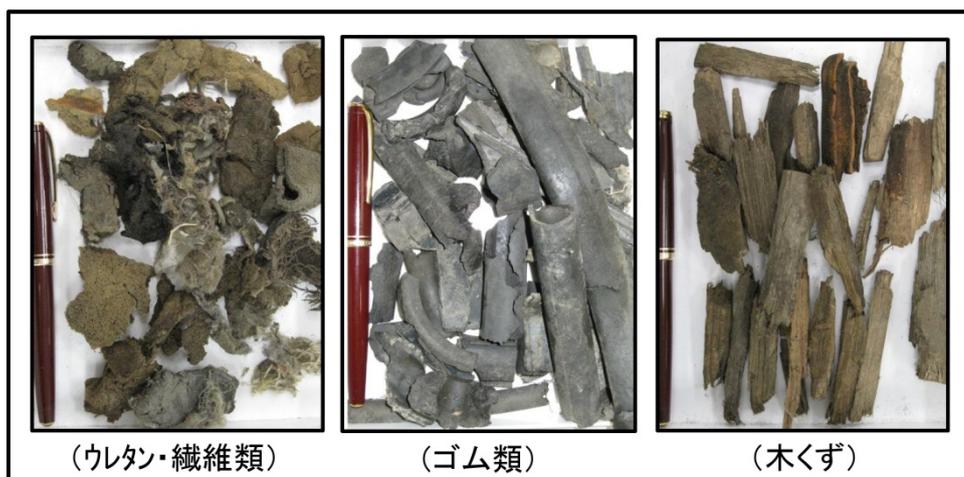


図3.1.3-29 破碎粒度小の受入A S R (2)含有夾雑物

夾雑物含入比率を図 3.1.3-30 に示す。

- ・プラスチックの含有比率は、前節の施設と同じ程度の約 80%弱であるが、夾雑物として、ゴムの含有比率より木片の含有比率の多い事が特徴である。

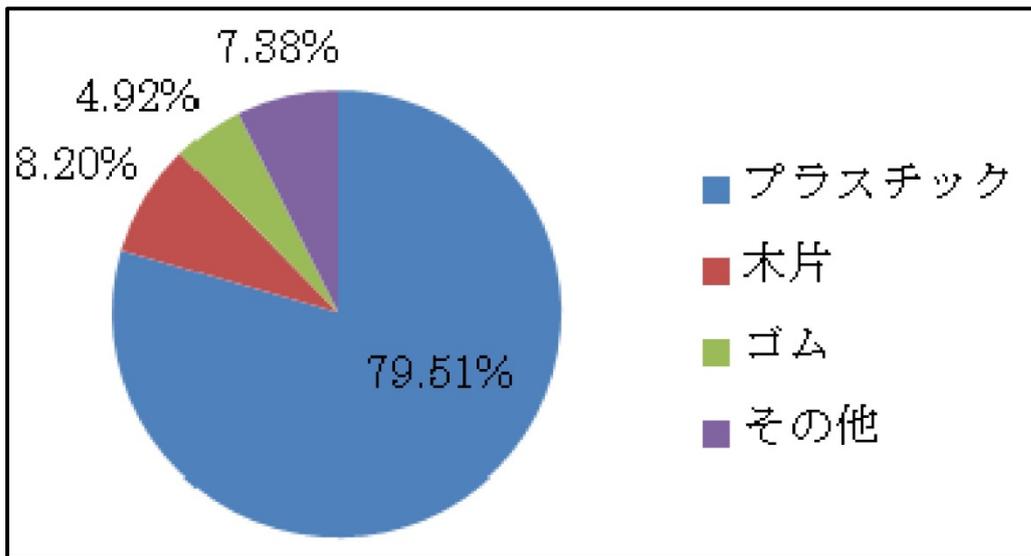


図 3.1.3-30 破碎粒度小の受入 A S R (2) 含有夾雑物比率 (wt%)

3.2 ASR選別システムの構築

本章においては、まず「3.2.1」において廃家電由来の混合プラスチック選別処理を行っているプラントの処理工程と選別精度を、次に「3.2.2」において夾雑物除去に関する技術現状を、そして最後に「3.2.3」において廃家電混合プラスチック対応で開発してきたラマン散乱分光法の技術レベルの現状を述べる。

3.2.1 現行システム（家電リサイクル対応）運用法の検討

（株）サイムの泉大津事業所では、家電リサイクルの最終段階で発生するシュレッダーダストから比重選別やラマン識別技術を組み合わせ、プラスチック片を回収するシステムを運用している。図 3.2.1-1 は、泉大津事業所主要機器の全景を示す。



図 3.2.1-1 (株)サイム泉大津事業所主要機器全景

図 3.2.1-2 は、混合プラスチックに関する処理フローを示すものであり、主要系統構成としては前処理設備と後処理設備に大別される。

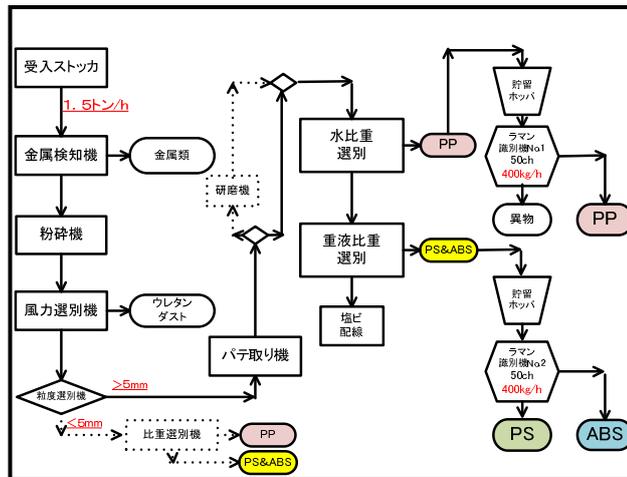


図 3.2.1-2 (株)サイム泉大津事業所処理フロー

前処理設備の主要機能は各所からプラントに入荷する廃プラスチック原料に対して、金属類除去、粒度調整、ウレタン類除去、付着物除去、比重差選別等の処理を行い、製品としては分別された軽プラスチックと重プラスチックであり、それぞれフレコンバックに充填されプラント内に一時保管される。前処理系統の設備処理能力は投入部で1.5 t / h rであり、構成するサブシステムにおいても当該処理量を確保する能力を有している。サブシステムを連結する搬送系設備としては、ベルトコンベア方式と空気輸送方式を採用している。

後処理設備の主要機能は、一時保管された前処理を施したプラスチックを、ラマン識別装置を用いて材料種別毎に分別（精選）しマテリアルリサイクルプラスチックとしての品質を向上する。製品は材質毎に分別されたプラスチックで有り、それぞれフレコンバックに充填されプラント内に一時保管される。設備処理能力は投入部で約 400 k g / h rであり、構成機器においても当該処理量を確保する能力を有している。

(1) 前処理設備

廃プラスチックはプラント内のストックエリアに一時保管される。前処理設備への廃プラスチックの投入はバケット付フォークリフトにて廃プラスチックを受け、持ち上げて受入ストッカーへ投入する。

受入ストッカーからの廃プラスチックの切り出しは受入ストッカー下部に設置している、キャタピラ式の切出しコンベアにて切出量を調整されて切り出される。(図 3.2.1-3 参照)

切出された廃プラスチックはマグプリーベルトコンベアに移行する。当該コンベアのエンドプリーには永久磁石式 (磁力 1000 ガウス) のマグプリーが装着されている。廃プラスチック中に混入している鉄等の強磁性物の夾雑物はマグプリーの磁力によって吸着除去され、別シュートにて鉄分回収 B O X にて回収される。(図 3.2.1-4 参照)



図 3.2.1-3 ストッカー切出



図 3.2.1-4 マグプリー

粉碎機は粉碎機内のメッシュサイズ選定にて粉碎粒度を調整できるが、基本的には約 15mmアンダーへの粉碎処理が連続的に行われる。(図 3.2.1-5 参照)

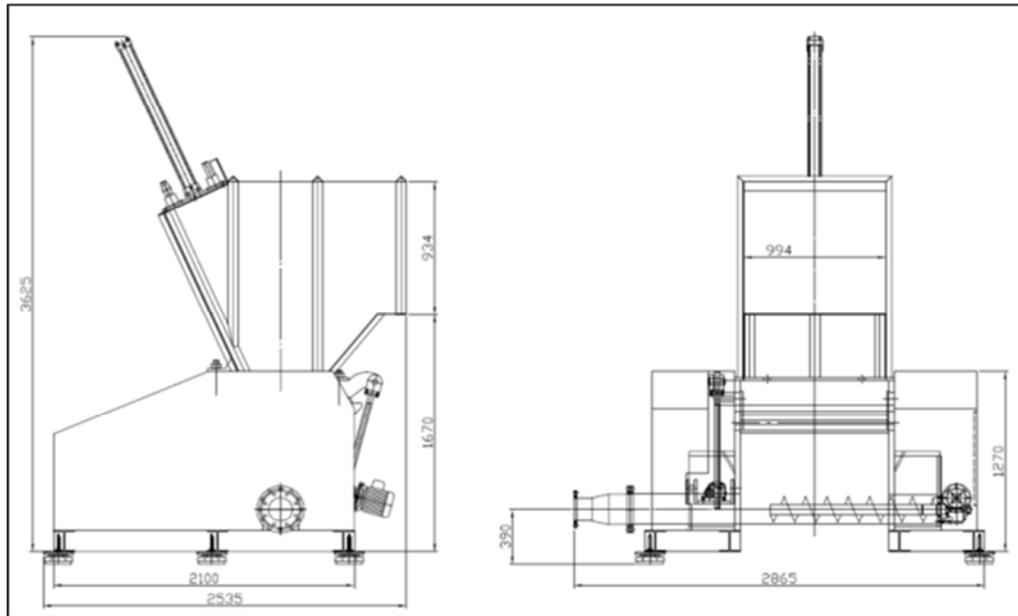


図 3.2.1-5 プラスチック粉碎機構造

粉碎処理された廃プラスチックはプレートファンにて空気輸送され、サイクロンホッパ及び風量選別機投入シュートを経て風力選別機に連続的に投入される。

風力選別機においては機内の風量調整にて重比重側へは廃プラスチック類、軽比重側にはウレタン類に分離して排出される。軽比重側へ分離されたウレタン類は排出コンベアを経てフレコン投入ホッパーを用いてフレコンバックに回収される。

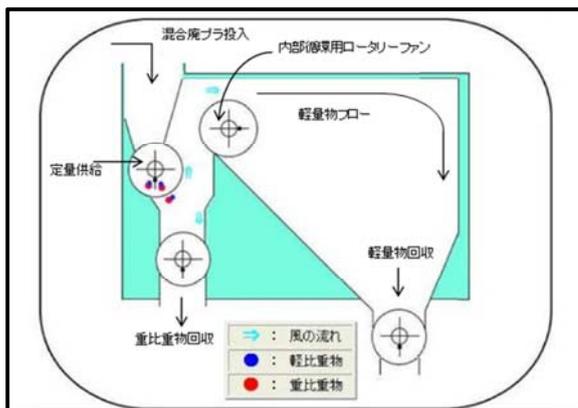


図 3.2.1-6 風力選別機の内部構造



図 3.2.1-7 風力選別機の外観

一方、重比重側に分離された廃プラスチック類は、プレートファンにて空気輸送され、サイクロンホッパ、シュートを経て振動ふるいに投入される。(図 3.2.1-8 参照)

振動ふるいにおいては、専用加工された 6mm 穴のパンチングスクリーンメッシュにて小粒形プラスチック(概ね 5mm アンダー品)と大粒形プラスチックに粒度選別が連続的に行われる。前段の粉碎工程処理において、粉碎機の内部構造上、小粒子がやむを得ず発生するが、小粒子の選別処理は後段設備での処理に適していないことから本工程にて分離回収される。



図 3.2.1-8 振動ふるい

スクリーンメッシュ穴から落下した小粒形プラスチックはシュート回収されプレートファンでの空気輸送にて、サイクロンホッパを経てフレコン投入ホッパーを用いてフレコンバックに回収される。一方、大粒形プラスチックは別シュートで回収されプレートファンでの空気輸送にてサイクロンホッパを経て水比重差選別機に投入される。

水比重差選別機へ投入されたプラスチック片は水比重差選別機の水槽投入スクリーにて水槽内へ導かれる。

(図 3.2.1-9)

水槽内では、まず、早期に水面に浮上する発泡ウレタン類が回収され浮プラBOXに回収される。



図 3.2.1-9 水比重差選別機

その後、水槽内水面に直列に設置される水車にて、プラスチック片は都度水面下へ導入され、プラスチック片中に混在する比重 1 未満のプラスチックは水面に浮上し、また、比重 1 以上のプラスチックは水槽底面に沈降する。(図 3.2.1-10)

水面に浮上した浮上プラスチック片は水槽水面末尾のスクリーフィーダにて回収・排出され脱水機へ投入される。脱水機に投入された浮上プラスチックは遠心分離による脱水処理された後、プレートファンでの空気輸送にて、サイクロンホッパを経てフレコン投入ホッパーを用いてフレコンバックに回収される。

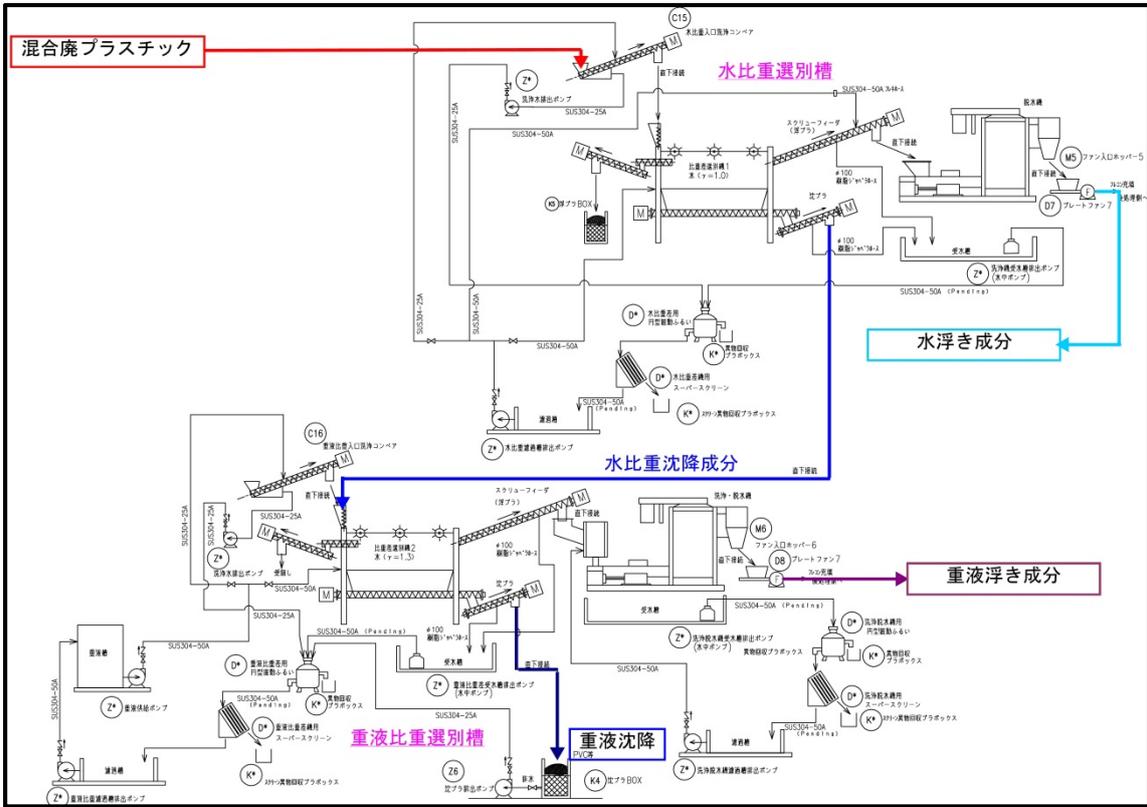


図 3.2.1-10 水比重・重液比重選別システム

一方、水槽内に沈降した沈降プラスチックは水槽底面に設置されたスクリーフィーダにて排出され、引き続いて重液比重差選別機に投入される。(図 3.2.1-11)

重液比重差選別機に投入されたプラスチック片は、水槽内水面に直列に設置される水車にて、プラスチック片は都度重液の水面下へ導入され、プラスチック片中に混在する比重 1.07 未満のプラスチックは水面に浮上し、また、比重 1.07 以上のプラスチックは水槽底面に沈降する。



図 3.2.1-11 重液比重差選別機

水面に浮上したプラスチック片は水槽水面末尾のスクリーフィーダにて回収・排出され洗浄脱水機へ投入される。

洗浄脱水機に投入されたプラスチックは洗浄機にて付着重液を洗浄し、その後、遠心分離による脱水処理された後、プレートファンでの空気輸送にて、サイクロンホップを経てフレコン投入ホッパーを用いてフレコンバックに回収される。

(2) 後処理設備

後処理設備のラマンソーター装置全体の外観を図 3.2.1-12 に示す。同一処理能力のシステムが 2 系列ある。



図 3.2.1-12 ラマンソーターシステム全景

受けホッパーからの廃プラスチックの切り出しは受入ストッカー下部に設置しているキャタピラ式の切出しコンベアにて切出量を調整されて切り出される。

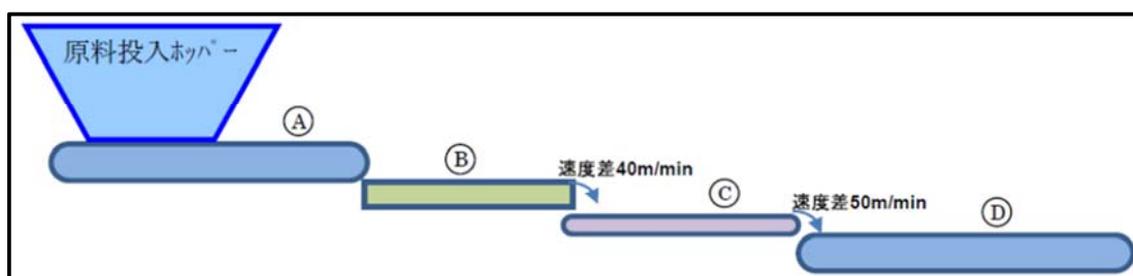


図 3.2.1-13 プラスチック切出し・整列システム

図 3.2.1-13 において、キャタピラコンベア (A) から切り出されたプラスチック片は振動フィーダ (B) に投入される。振動フィーダ (B) にはスリット入りの波型トラフが設定されており、スリットにて、小片のプラスチック片を除去するとともに、後段の供給コンベア (C) への定量分散を行う。供給コンベア (C) はラマン識別高速コンベア (D) に供給する前の時点で速度差を抑制し、乗り継ぎ時のワークの跳ね、飛散を抑制することを目的として設置している。

高速ラマンコンベア (D) は 100m / min (最大 150m / min) の速度で

プラスチック片を搬送する。

図 3.2.1-14 は、ラマンソーターの全体構造を平面図と立面図で示したものである。高速ラマンコンベア上にはラマンセンサーがベルト幅方向に 5mm 間隔で 50 台（図 3.2.1-14 の図中、ラマン分光波識別エリア）設置されており、センサー通過時にプラスチック片の材料識別が行われる。

ラマンセンサーにて材料識別が行われたプラスチック片は、高速ラマンコンベアの後段に設置されているエアブローノズル（図 3.2.1-14 の図中、分別エリアに設置）にてエアブローにてブロー分別される。

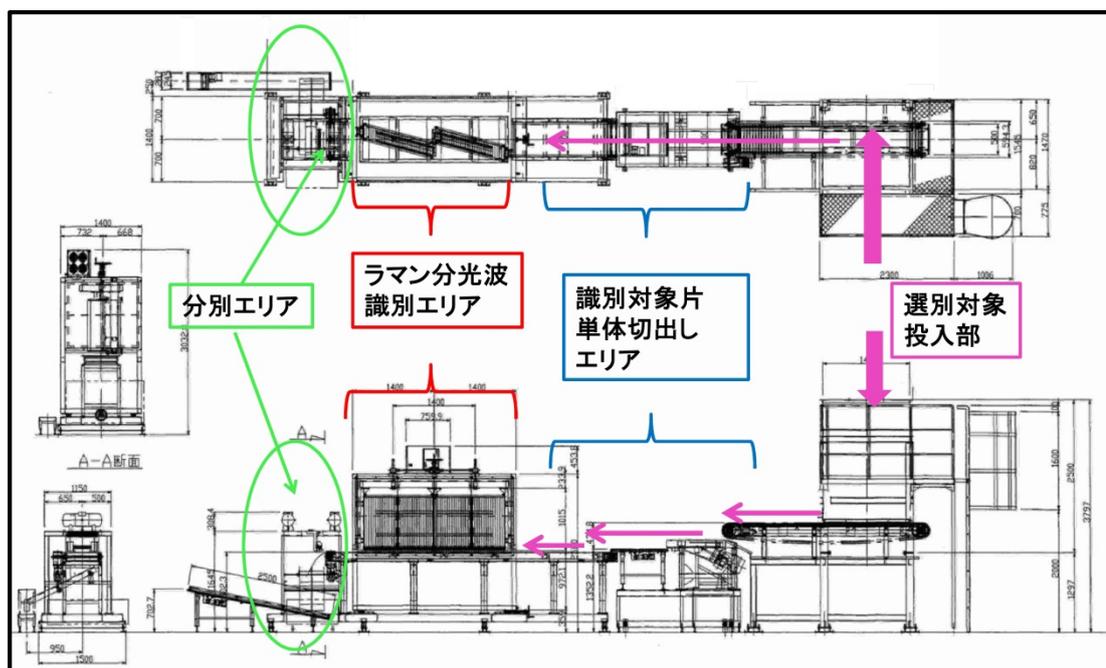


図 3.2.1-14 ラマンソーター全体構造

エアブローノズルはラマンセンサーの設置と同じようにベルトの幅方向に対して 5mm の間隔で 50 穴設けられており、各センサの識別信号に応じ、相対するエアブロー穴から圧縮空気を噴出し、選別されたプラスチック片をブロー分別し、識別後プラBOXに回収される。また、ブローされなかったプラスチック片はプレートファンでの空気輸送にて、サイクロンホッパを経てフレコン投入ホッパーを用いてフレコンバックに回収される。

図 3.2.1-15 は、ラマンソーター識別・分別システムの全体フローを示すものである。

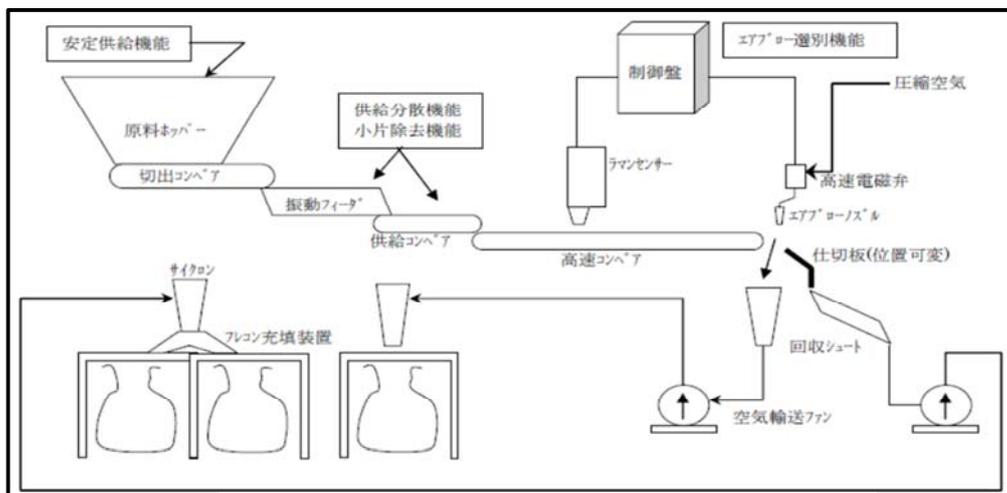


図 3.2.1-15 ラマンソーター識別・分別システム

(3) 廃家電由来混合プラスチックから水比重槽でのPP回収純度

廃家電由来の混合プラスチックを水比重選別した結果では、表 3.2.1-1 に示すように回収純度 99%以上の結果が安定的に得られている。

表 3.2.1-1 水比重選別槽でのPP回収純度

選別処理実施日	12月22日	12月22日	1月24日	1月24日	1月25日	1月26日	1月28日
純度分析 (wt%)	99.89	99.55	99.17	99.23	99.49	99.99	99.18

(4) ラマンソーターの選別純度、回収率実績

PS 及び ABS の各々の単一種別の標準サンプル品を 100 個ずつ用いての標準サンプルに関する識別分別能力試験の結果では、表 3.2.1-2 に示す実績がある。標準サンプル片の大きさは 10mm × 10mm であった。プラスチックの供給は振動フィーダから約 150Kg/hr 相当で供給した。試験は 10 回行っている。

表 3.2.1-2 ラマン分光波識別装置の標準試験片処理結果

	フロー側		ノンフロー側		PS純度	PS回収率	ABS純度	ABS回収率
	PS個数	ABS個数	PS個数	ABS個数				
RUN 1	94	0	6	100	100.0%	94.0%	94.3%	100.0%
RUN 2	93	0	7	100	100.0%	93.0%	93.5%	100.0%
RUN 3	93	0	7	100	100.0%	93.0%	93.5%	100.0%
RUN 4	92	0	8	100	100.0%	92.0%	92.6%	100.0%
RUN 5	96	0	4	100	100.0%	96.0%	96.2%	100.0%
RUN 6	94	1	6	99	98.9%	94.0%	94.3%	99.0%
RUN 7	95	0	5	100	100.0%	95.0%	95.2%	100.0%
RUN 8	95	0	5	100	100.0%	95.0%	95.2%	100.0%
RUN 9	94	0	6	100	100.0%	94.0%	94.3%	100.0%
RUN 10	94	0	6	100	100.0%	94.0%	94.3%	100.0%
合計	940	1	60	999	99.9%	94.0%	94.3%	99.9%

家電リサイクルプラントから排出される混合廃プラスチックに対する識別・分別実証試験を行なった。混合廃プラスチックのラマン識別機への投入重量は、320Kg/hrとした。結果を下記の表 3.2.1-3 及び表 3.2.1-4 に示す。Run 1の場合、エアブロー回収側の純度は92.5%であり、回収率は52.0%であった。また、Run 2の場合、同様の純度は97.8%となり、回収率は38.5%となった。

表 3.2.1-3 Run1 の選別処理結果

RUN 1	PS回収品(ブロー側)				ABS回収品(ノンブロー側)				ABS長尺、その他を除いた評価	
	流量	0 kg/h			流量	0 kg/h				
	PS回収品(ブロー側)(kg)				ABS回収品(ノンブロー側)(kg)				PSブロー回収側	
	PS	ABS	ABS長尺	その他※	PS	ABS	ABS長尺	その他※	PS純度	PS回収率
	65	5	2	3	60	128	2	55	92.5%	52.0%

表 3.2.1-4 Run2 の選別処理結果

RUN 2	PS回収品(ブロー側)				ABS回収品(ノンブロー側)				ABS長尺、その他を除いた評価	
	流量	0 kg/h			流量	0 kg/h				
	PS回収品(ブロー側)(kg)				ABS回収品(ノンブロー側)(kg)				PSブロー回収側	
	PS	ABS	ABS長尺	その他※	PS	ABS	ABS長尺	その他※	PS純度	PS回収率
	54	1	0	0	86	111	23	45	97.8%	38.5%

3.2.2 夾雑物除去方法の検討

3.2.2-1 ゴム除去方法の検討

A S Rの組成分析の結果（第3.1節参照）からも明らかなように、A S Rにはゴム夾雑物の含入量が廃家電由来の混合プラスチックに比べて圧倒的に多い。

図3.2.2-1及び図3.2.2-2は、再資源化施設から再生プラ分別・回収施設に搬入された比較的破碎粒度の大きなA S Rから人手による手選別作業で回収されたゴム夾雑物である。



図 3.2.2-1 ゴム夾雑物（1）



図 3.2.2-2 ゴム夾雑物（2）

ゴム夾雑物はA S Rの中に重量比率で約8%含まれているが、手選別作業のコンベア搬送速度を作業能力に合わせて下げる必要があり、これが全体処理能力のボトルネックとなる。

図3.2.2-3は本実証事業で実施の手選別作業状況を示す。



図 3.2.2-3 手選別作業状況

手選別作業者のゴム除去効率を上げる方法としては、図3.2.2-4が考えられる。

手選別作業者の従事する手選別コンベア上のゴム含有比率を上げて、手選別作業が全体工程のボトルネックをならないように配慮した構成である。破碎機により、ゴム以外のものは粒度が細くなり、篩メッシュを通過するが、ゴムは破碎されず粒度の大きさを保って手選別コンベアに戻ってくる仕組みである。

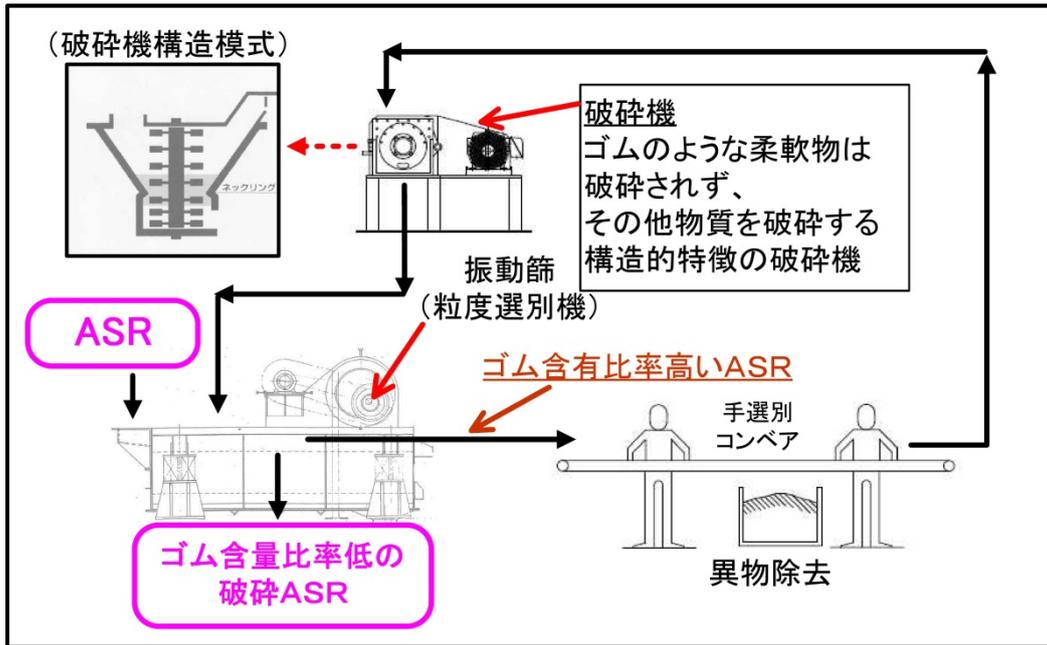


図 3.2.2-4 ゴム除去の手選別効率改善案

プラスチックとゴムの機械的分別を行う上で両者の摩擦係数に関する物理的特性の相違を利用する方法が考えられる。

図 3.2.2-5 は、「安田武夫、プラスチック材料の各動特性の測定法と評価方法<10>、プラスチック Vol. 51, No. 11」からの引用でプラスチック材料の動摩擦係数を示す。

デルリン材（ポリアセタール樹脂）に対する動摩擦係数は、PP材の場合、0.2程度となっている。

一方、ゴムの動的摩擦係数としては、ニトリルゴム、クロロプレングム、シリコンゴム、フッ素ゴム等において、0.23~0.57の報告がある。

但し、エチレンゴムやブチルゴムなど0.2を下回るものもある。

動的摩擦特性の相違で物質を分別する研究が大矢（大矢仁史、粒子状物質の形状分離に関する研究、1997.11.）により行われている。図 3.2.2-6 は、分別原理を示すものであり、コンベアの傾斜角や搬送速度に依存して、物質の動的摩擦係数の相違によりコンベア上の滑り軌跡が異なることを利用して分別するものである。

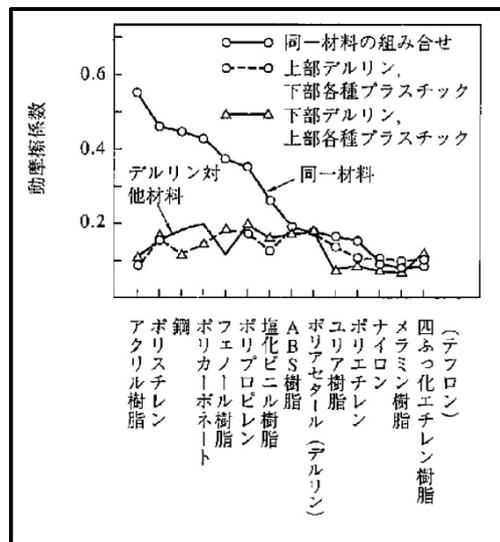


図 3.2.2-5 プラスチックの動摩擦係数

図 3.2.2-7 は、コンベアの傾斜角度 15 度として、搬送速度一定の条件下で動摩擦係数 μ の相違でコンベア上の軌跡が異なる理論的計算結果を示すものである。

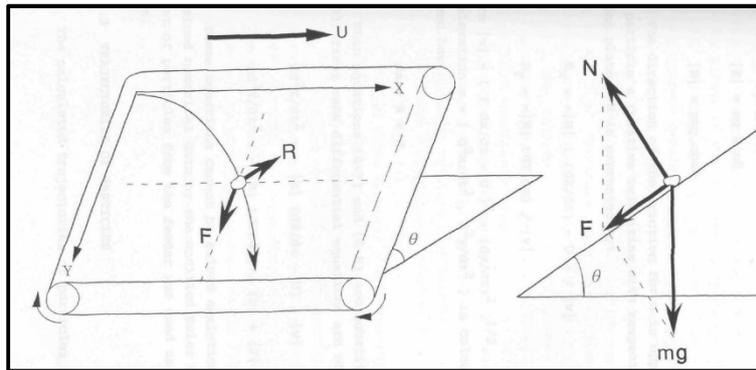


図 3.2.2-6 傾斜コンベアによる分別原理

図 3.2.2-8 は、コンベアの搬送速度を変えた場合の、動的摩擦係数の相違による両者の分離距離を求めたものである。このような理論的なバックデータをもとにゴム夾雑物を A S R から分別除去することも期待できる。

本法は、操作方法の選定によりプラスチック類とゴム類の軌跡が図 3.2.2-7 のようになり、相互干渉が無くなることから、分離効率向上の可能性はある。

しかしながら、固体の軌跡と搬送方向が角度を持つことから運動が複雑化することで、軌跡の制御が難しくなり、分離効率の低下の原因となることも考えられる。

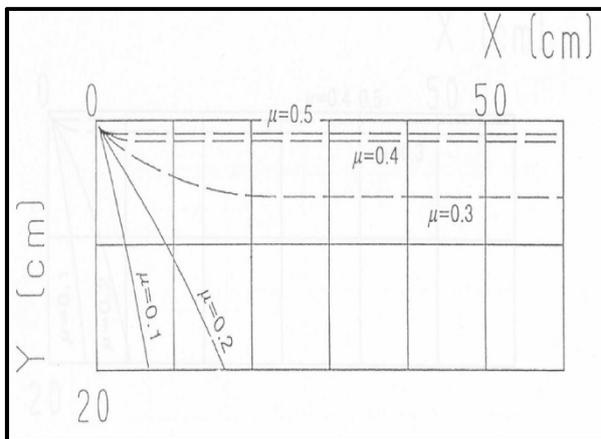


図 3.2.2-7 傾斜コンベア理論計算

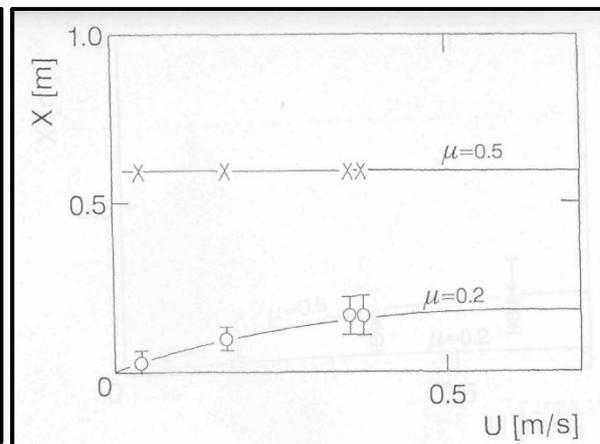


図 3.2.2-8 傾斜コンベア評価

上記の応用例として、コンベア乗継時の乗りついた先のコンベアでの動的摩擦係数の相違を利用して分別する方法も考えられる。

図 3.2.2-9 に示す方法は、搬送コンベアの搬送方向延長線上からの立上げ角度として、動的摩擦係数の大きな物質が立上げ角方向に上り、小さいものは乗り移り先のコンベアから搬送方向と逆方向に滑り落ちるものである。

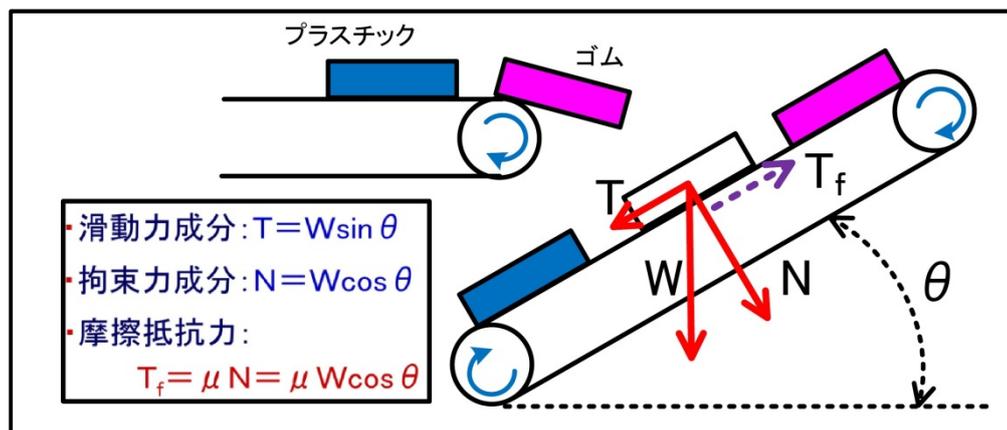


図 3.2.2-9 逆さコンベア模式図

図 3.2.2-10 に逆さコンベア方式の実施例を示し、図 3.2.2-11 に回収物を示す。



図 3.2.2-10 逆さコンベア実施例



図 3.2.2-11 逆さコンベア回収物

コンベア先端に滑りやすい塩ビ管ローラーを据え付ける方式を図 3.2.2-12 に示す。装置仕様として、処理能力；毎時～500Kg を達成(プラスチックサイズ 12mm 角程度)であり、ローラー径：90 ミリ、ローラー速度：毎分 700 回転としている。

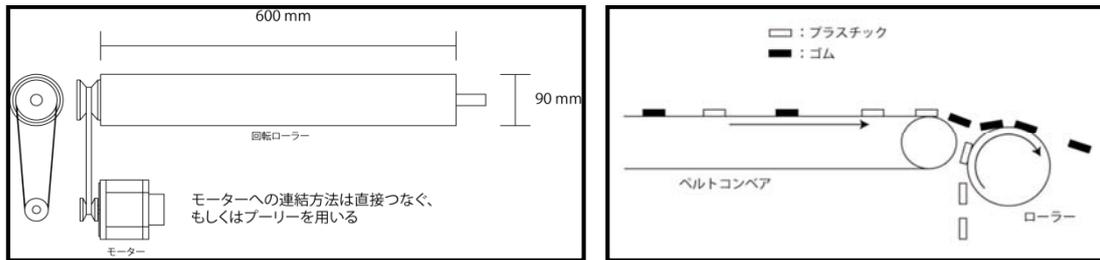


図 3.2.2-12 ローラー方式

図 3.2.2-13 は、機械選別処理工程にローラー方式を組み込んだ状態を示す。



図 3.2.2-13 機械選別処理工程への組込状態

表 3.2.2-1 は、ローラー方式の性能評価試験の結果である。処理の前後でゴム含有量は 1/2 程度となった。（当該技術のコア技術研究開発は、「公益財団法人 新技術開発財団 第 93 回」からの採択支援によるものである。）

表 3.2.2-1 ローラー方式性能試験評価結果

処理量 (Kg/h)	原料中の ゴム含有率 (w/W)	処理後の ゴム含有率 (w/W)
91	4.30%	1.80%
108	2.50%	1.00%
138	4.60%	2.50%
150	5.00%	2.60%
173	3.90%	1.80%
230	6.60%	2.80%
314	3.50%	1.80%

3.2.2-2 木くず除去方法の検討

再資源化施設での A S R 組成分析、並びに再生プラ分別・回収施設での受入 A S R に関する夾雑物含入分析における木くずに関する知見は以下の通りであった。

- a) 破碎施設から再資源化施設に持ち込まれる A S R において、木くず含有率 (wt%) は、0.2%~1.2%であった。
- b) 15mm アンダー粒度で再生プラ分別・回収施設に持ち込まれる A S R に関して、再資源化施設の処理の中で木くず含有量は、0.6wt%から 0.2wt%に低減していた。
- c) 35mm~100mm の粒度で再生プラ分別・回収施設に持ち込まれる水比重選別 (再資源化施設の処理における水比重選別) の水に対する 浮き成分と 沈降成分中の木くず含有量は、水沈降成分の方が少ない。図 3.2.2-14 参照。



図 3.2.2-14 水比重浮き成分/沈降成分中の木くず含有比較

- d) 30mm 程度の粒度で再生プラ分別・回収施設に持ち込まれる A S R 中の木くずは、長さ 5cm 程度の棒形状が多い。

この A S R 搬入元の再資源化施設では、破碎施設から受入の A S R における木くず含有量が 1.2%が再生プラ分別・回収施設持込時点で 8.2%にあがっている。当該再資源化施設のプラスチック含有率を上げる処理工程が木くず含有率もあげており、最終段階での木くず除去処理が必要と言える。



図 3.2.2-15 木くず形状 (棒形状)

上記の知見から、再資源化施設の木くず形状が棒状態であること (図 3.2.2-15 参照) に着目して選択的に除去する機械装置の考案・創出が必要である。

破碎粒度の小さい物質に関して、選別対象物の摩擦帯電特性の相違を利用して分離する方法がある。プラスチックと木くずの摩擦帯電系列を図 3.2.2-16 に示す。

木くずはプラスチックに比べて、弱いマイナス又はプラスに帯電する特性を持ち、両者は異なる電荷をもつこととなる。



図 3.2.2-16 摩擦帯電系列

静電選別の基本的な方式を図 3.2.2-17 (出典;大和田、「電気的選別」資源と素材 Vol.113 p.920-923(1997)) にしめす。この方法に関しての適応粒度は、0.15mm ~ 3mm とされている。

静電・コロナ放電併用式の試験的装置により分別の試験を行った。図 3.2.2-18 に分別原理を示し、図 3.2.2-19 は装置外観を示す。

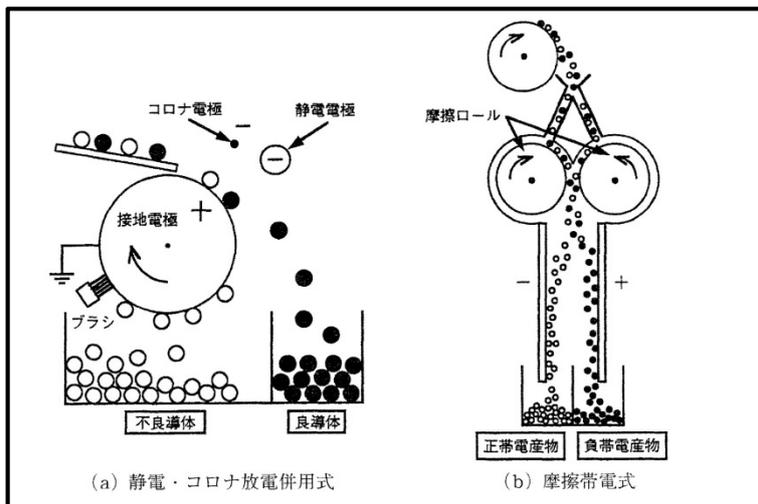


図 3.2.2-17 静電選別方式

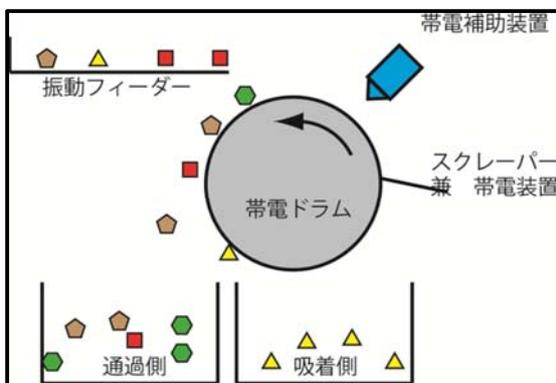


図 3.2.2-18 分別原理



図 3.2.2-19 装置外観

分別結果を図 3.2.2-20 に示す。分別対象物の A S R の中に混在している配線類も多く吸着される結果となった。

木くずの除去率に着目すると図 3.2.2-21 の結果を得た。

試験対象物の破碎粒度は、約 15mm アンダー程度であり、静電分離に適切とさる粒度 ~ 3mm よりかなり大きい。

プラスチックリペレットの段階で樹脂製造業者からの要求される粒度との関係を念頭に、今回の試験より更に細粒化した対象物での分別性能を確認する必要がある。

また、摩擦帯電方式であるため、試験対象物の乾燥度に大きく影響され、雰囲気条件なども適切に管理する必要がある。(当該技術のコア技術研究開発は、「公益財団法人 新技術開発財団 第 93 回」からの採択支援によるものである。)

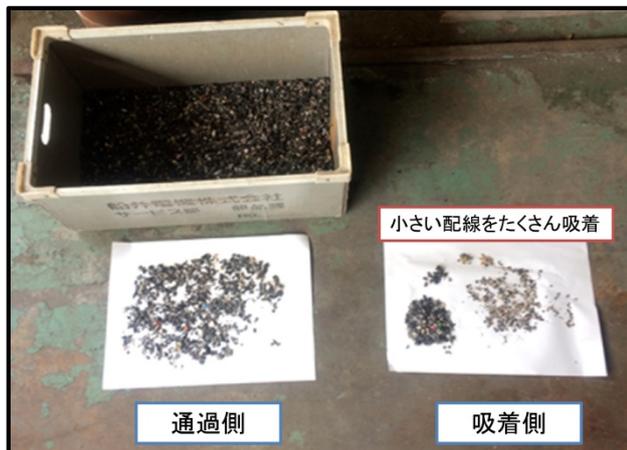


図 3.2.2-20 分別状態

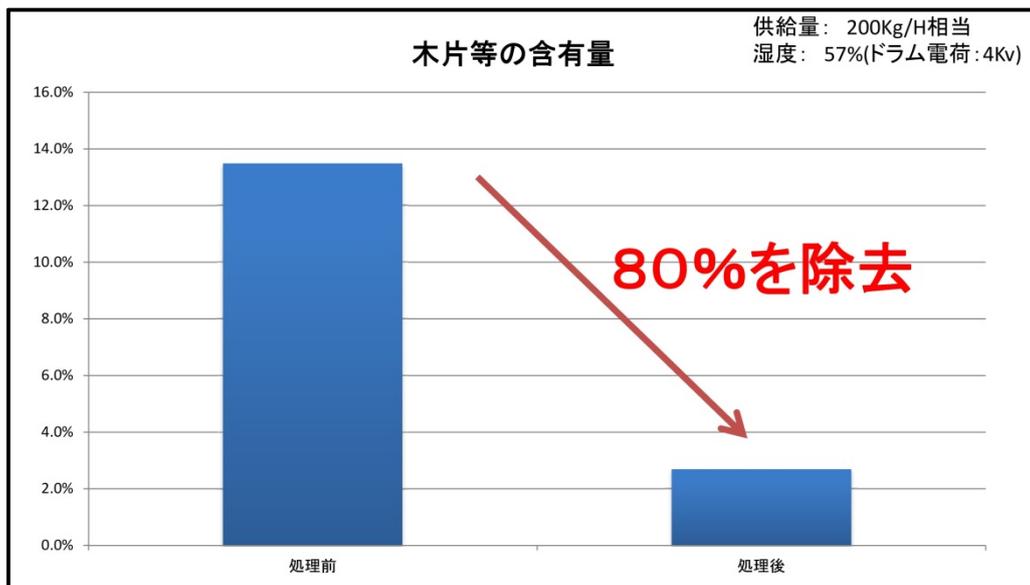


図 3.2.2-21 木くず除去率

3.2.2-3 A S R選別システム構築の課題

廃家電由来の混合プラスチックからのプラスチック材料リサイクル対応で構築されたシステムにA S R含有の夾雑物除去を組み込んで構築する選別システムの案を図3.2.2-22に示す。

主要な課題は以下の通りである。

1) 破碎粒度が大きい段階での夾雑物除去

- ・木くずが長もの棒状の形態であることに対応した除去装置の考案が期待される。
- ・逆さコンベアの一定の有効性は確認しており、傾斜コンベアと総合的に実証評価が必要である。
- ・図3.2.2-4に示したような破碎機の破碎特性（ゴムをせん断処理しない）と組み合わせ、選別対象物を循環処理して、除去対象物の割合を高めながら、手選別作業者の除去効率を向上して全体処理能力向上を可能とする手選別方式の構築を図る。

2) 破碎粒度が小さい段階での夾雑物除去

- ・ゴム除去は傾斜コンベア方式やローラー方式で装置周辺への散逸量を低減可能な工夫を図る。
- ・木くず除去に帯電摩擦方式を採用する場合、適合する破碎粒度が0.15mm～3.0mmであることを念頭に、出荷先の樹脂製造業者の要求粒度以内での細粒化で木くず除去効率を図る。

3) 水比重差選別によるSS除去・水質管理

- ・A S Rの場合、廃家電由来の混合プラスチックに比べて、混入される汚れが大きく、水比重選別装置に持ち込まれる浮遊固形物濃度（SS濃度）やノルマルヘキサン濃度が高い。連続的なSS除去を行い、水質一定（比重）管理が重要となる。

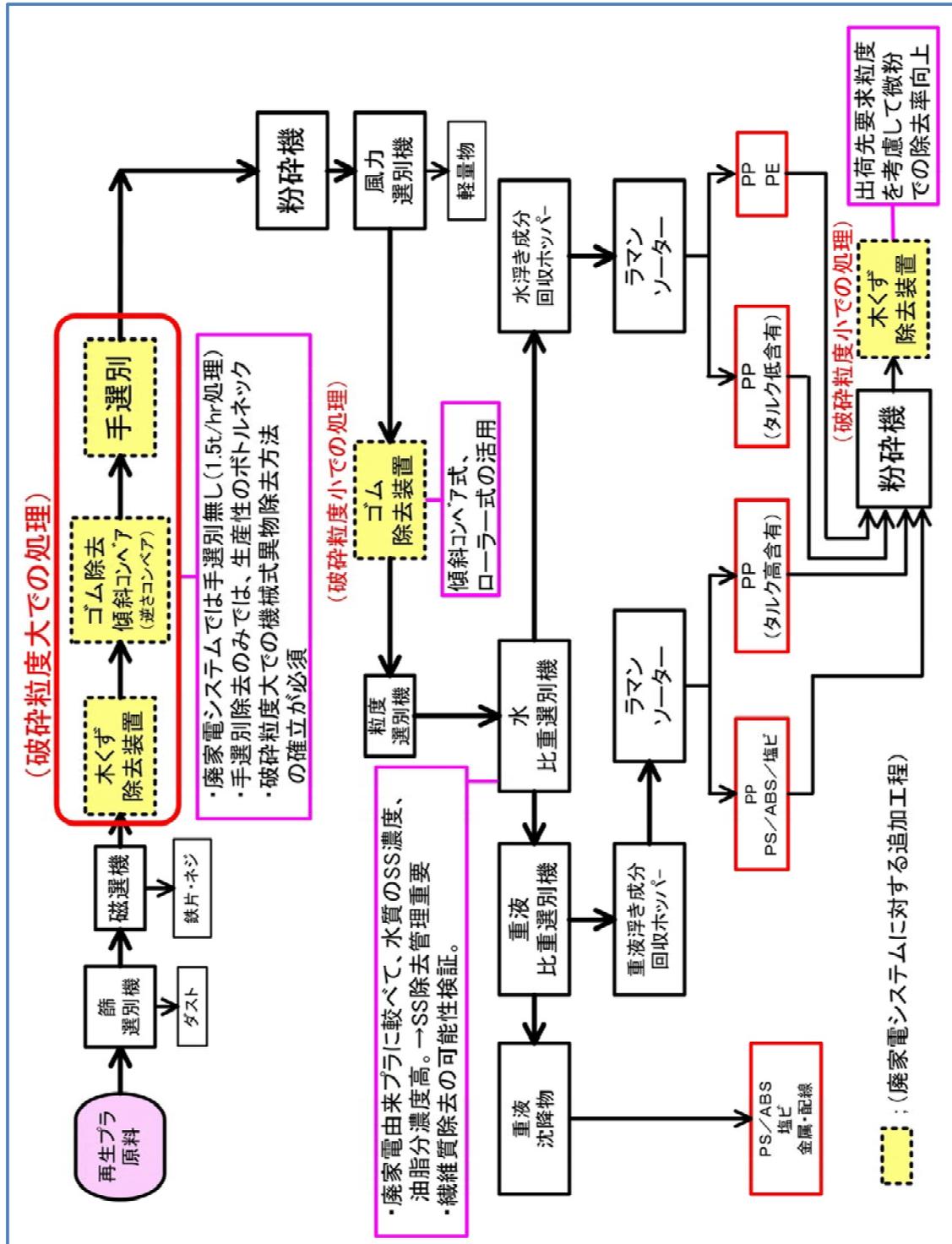


図 3.2.2-22 A S R 選別システムの構築と課題

3.2.3 ラマン散乱分光法の適用

1) ラマン散乱分光器の構造

ラマン分光法は、インド人物理学者チャンドラセカール=ラマンの発見に由来する。物質に光を照射すると、光と分子の電子状態との相互作用により反射、吸収のほかには散乱と呼ばれる現象が起こる。その中には入射光と同じ波長が散乱するレイリー散乱と強度がレイリー散乱の 10^{-6} オーダーと微弱で分子振動のエネルギーにより変調されたラマン散乱がある。入射光より長波長側に観測される一連のピークをストークス線、逆に短波長側に観測されるものをアンチストークス線と呼ぶ。通常のラマン分光法ではサンプルに可視光レーザーを照射し強度の大きいストークス線をマルチチャンネル分光器で測定してラマンスペクトルを得る。したがって、ラマン分光法は分子振動エネルギーが関与することから、よく知られている赤外分光法(IR)と同様に分子構造に関する情報が得られる。ラマン分光法でも IR と同様に、主要ピークの官能基への同定、すなわち定性分析が可能であり、ピーク強度を適切に処理することで定量分析も可能である。

ラマン分光法も IR も分子振動に関する信号が得られるがその違いは、ラマン分光法では可視光の散乱現象を測定するのに対し IR では赤外線の吸収を測定する点において大きく異なる。このことは、赤外分光法では双極子モーメントの変化が大きい振動(C=O、O-H)が強く測定される(赤外活性)。そのため、水やCO₂等の影響が大きい。一方、ラマン分光法では分極率が変化する振動(C=C、S-S)が強く測定される(ラマン活性)。そのため、ラマン分光法では水、CO₂、ガラスなどの影響が少ないという特徴がある。また、ラマン分光法では、液体、粉体、結晶、気体といった試料をそのまま非接触で測定すること可能である上、レーザーラマン顕微鏡では、供焦点光学系を使用することで空間分解能をサブミクロンまであげることができる。

図 3.2.3-1 はラマン分光器(以下、ラマンセンサー光学系)の構成を示している。本装置ではレーザーを光源として利用し、ラインフィルタで波長純度を向上させ、検査対象に照射する。検査対象から散乱するラマン光を対物レンズで捉え、エッジフィルタでストークス線だけを取りだす。その後、グレーティングにより波長毎に分けた光を CCD により読み出す構成となっている。

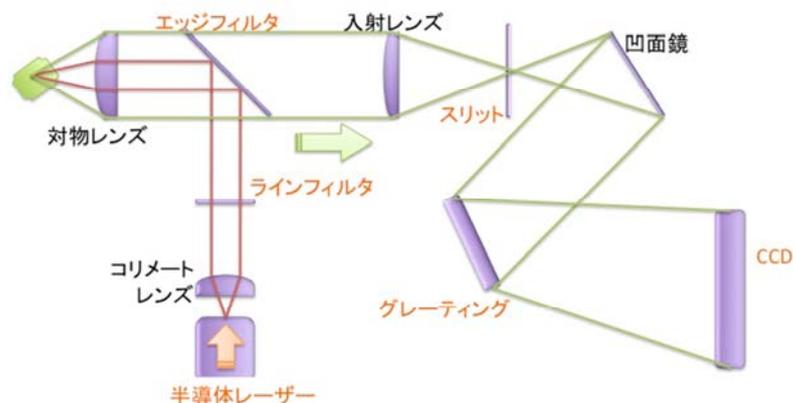


図 3.2.3-1 : ラマン散乱分光器の内部構造概略

CCD 読み出し速度の選定

CCD は小さな受光面(24 x 24 μm)が、その画素数で示される数量だけ平面に並んでいる。ここからデータを読み出す処理には、まず縦の列方向にそれぞれの受光面にたまった電荷を積算するビニングという処理と、積算したデータをスペクトルデータとして読み出す、読み出し処理からなっている。よって、ラマン光をいくら集めることが出来たとしても、露光時間は CCD のビニング処理時間(0.7ms)と読み出し時間(1/周期 * CCD ピクセル数 s)の合計で制限される。データシートにて標準とされる 250kHz で読み出しを行っており、3ms 間隔で 512 ピクセルのデータを読み出してきたが、さらなる露光時間の短縮および画素数増加に対応するため、この読み出し時間をデータシート上最大の 1MHz(1000kHz)まで上げる実験を行った。

図 3.2.3-2 は、現状の 250kHz と 500kHz、666kHz、1MHz にて PS のラマンスペクトルを測定した結果を示している。読み出し速度が 2 倍を超えたあたりからノイズが目立ち始めている事が分かった。また、データシート上最大である、1MHz の測定では、通常を読み出しで行っている低雑音・低暗電流モードでの測定ができないので、取り込んだラマン光がノイズに埋もれてしまっている。しかし、本事業の取り組みの中でノイズフィルタの設置などによる供給電源の安定化により、さらなるノイズの低減が可能であることが分かってきた。これらをふまえ、図 3.2.3-3 に最終的な装置で読み出し速度を 1MHz に設定し 3ms の露光時間で測定した PS のラマンスペクトルを示す。

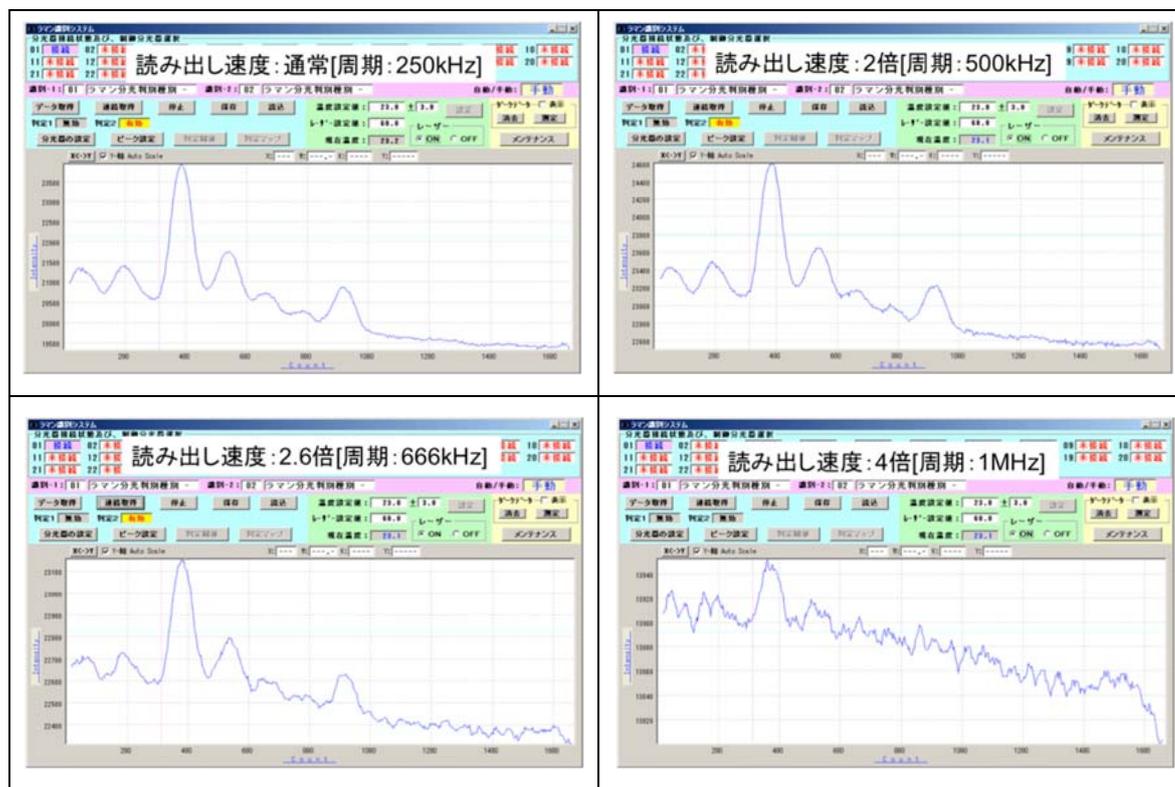


図 3.2.3- 2 : 読み出し速度を変えて測定した PS のラマンスペクトル

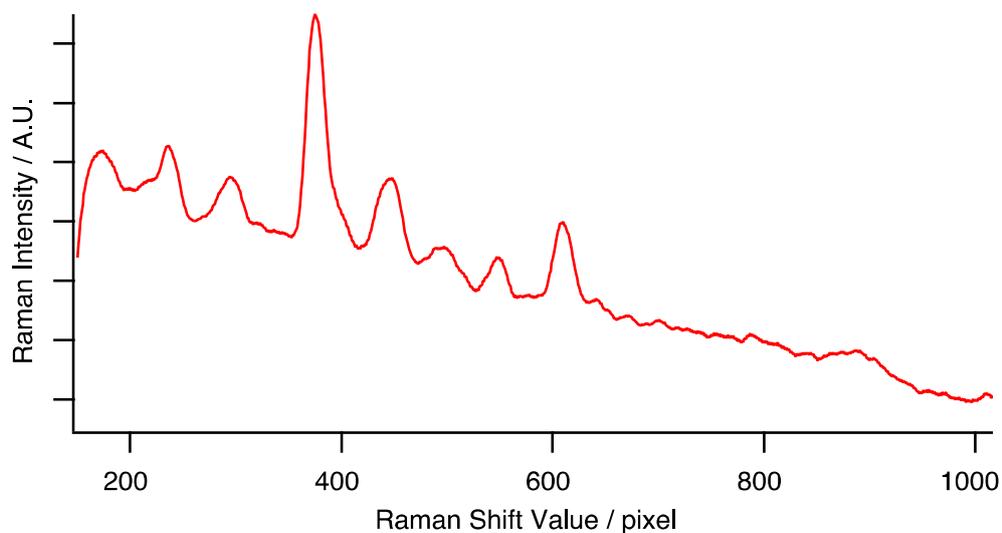


図 3.2.3-3 : 1MHz の読み出し速度で測定した PS のラマンスペクトル

成分による識別

ここに研究用のラマン分光器と本事業で用いたラマン分光器で測定した PP、PS、ABS のラマンスペクトルを図 3.2.3-4 と図 3.2.3-5 に示す。なお、本事業で用いたラマン分光器では高速演算のため横軸をカイザーに変換せず CCD の画素数(pixel)で示している。

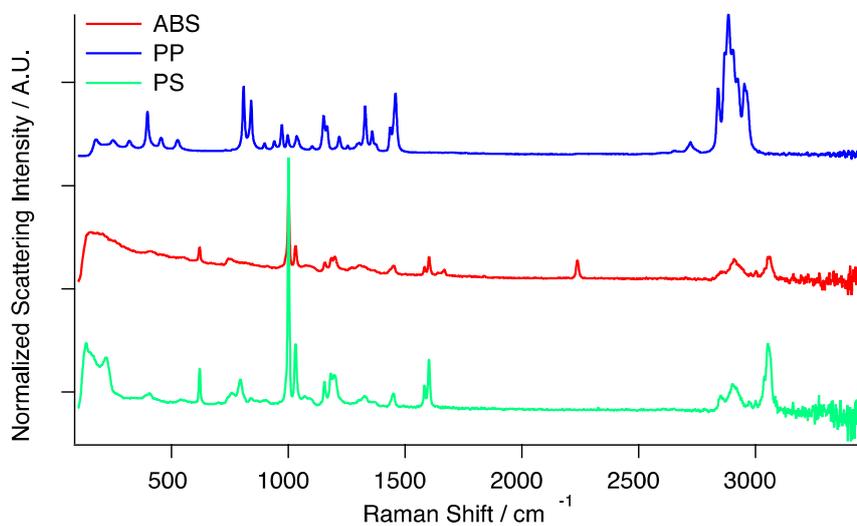


図 3.2.3-4 : 研究用のラマン分光器で測定したラマンスペクトル

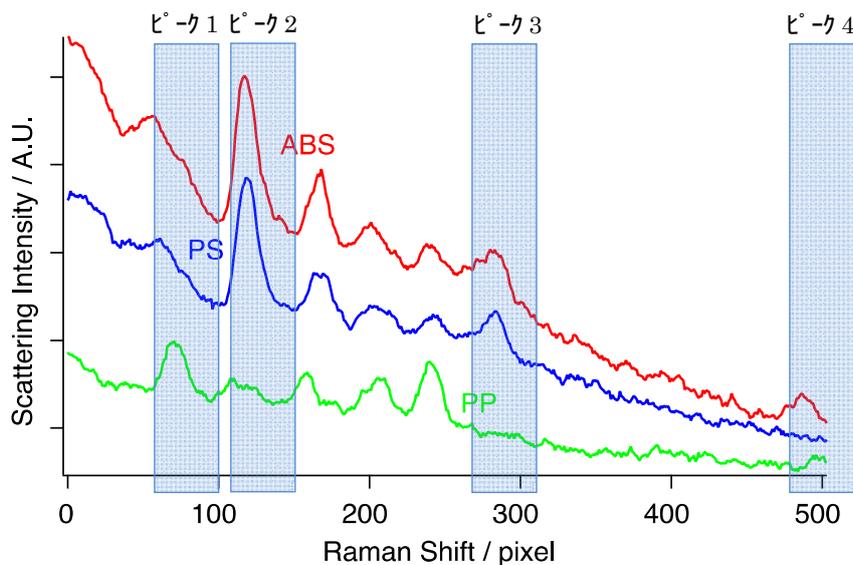


図 3.2.3- 5 : ラマン分光器で測定したラマンスペクトル

PPには 800 cm^{-1} 付近(ピーク 1:本事業で用いたラマン分光器で測定した波形では 80 pixel 付近)に特徴的なメチル基を示すピークがあることから PS や ABS との区別が容易に付く。しかし、PS および ABS はいずれもスチレン構造を持つそのためベンゼン環由来のピークが 1000 cm^{-1} 付近(ピーク 2:本事業で用いたラマン分光器で測定した波形では 120 pixel 付近)にあるが、ABS にはアクリロニトリロが持つシアノ基のピークが 2250 cm^{-1} 付近(ピーク 4:本事業で用いたラマン分光器で測定した波形では 480 pixel 付近)にあることから ABS もしくは PS の特定が可能である。さらに詳しく分析する場合、ABS に含まれるブタジエンが持つ CC 二重結合を示すピークが 1600 cm^{-1} 付近(自作分光器で測定した波形では 300 pixel 付近)にあることからその特定が可能である。このようなプラスチックの識別処理をコンピューター上で実現させることでわずか 3ms の時間でプラスチックの種類の識別が可能になる。

臭素系難燃剤やその他添加剤の識別

一般的に家電製品にて用いられる臭素系難燃剤としてデカブロモジフェニルエーテル (DeBDE) やテトラブロモビスフェノール A (TBBA) が知られており、難燃の効果を発揮させるため数%以上添加されている。図 3.2.3-6 に DeBDE および TBBA、助剤として用いられる酸化アンチモン (Sb_2O_3) のラマンスペクトルを示す。

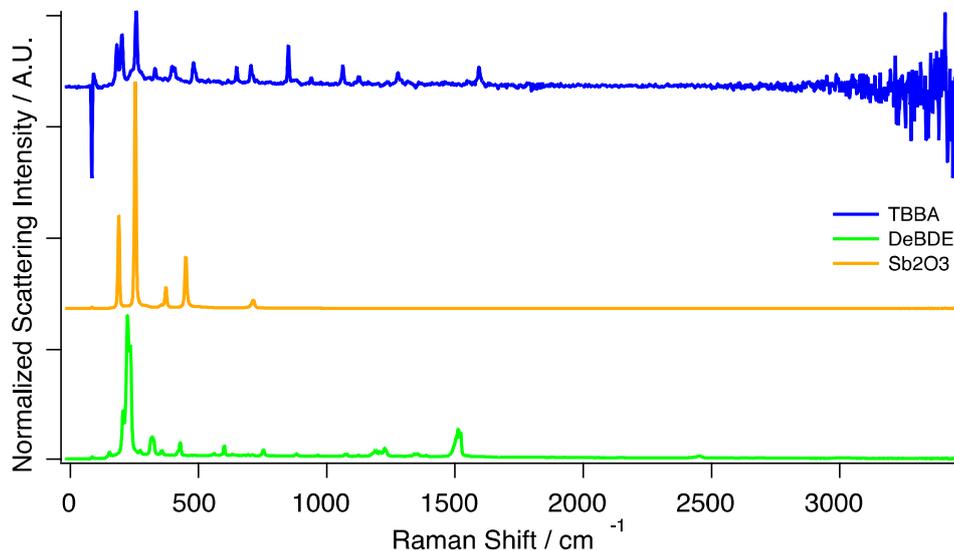


図 3.2.3-6 : 臭素系難燃剤のラマンスペクトル

また、これら難燃剤をプラスチックに添加すると、母剤となるプラスチックのピークに加えこれら添加剤のピークも現れる。図 3.2.3-7 ではその一例として PP に DeBDE を 5%、10%、20%それぞれ添加したサンプルのラマンスペクトルを示している。

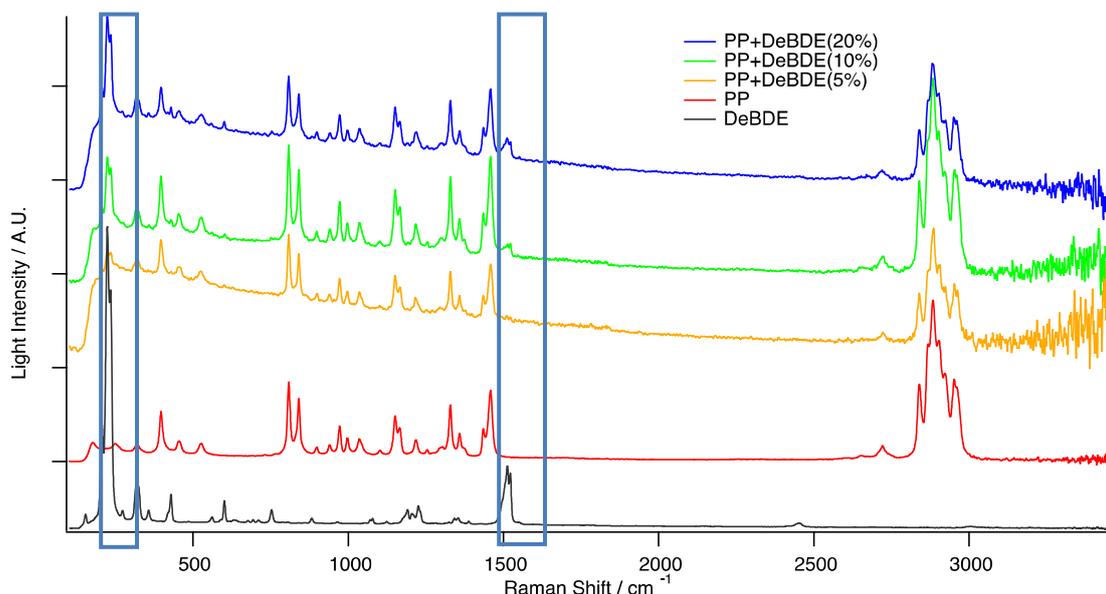


図 3.2.3-7 : PP に臭素系難燃剤 (DeBDE) を添加したサンプルのラマンスペクトル

図において 230cm^{-1} 付近と 1500cm^{-1} 付近のピークが DeBDE の添加に従い増加している。このように、臭素系難燃剤やその他添加剤においてもその特徴的なピークを見つけそのピークの有無を調べる事で含有の有無を確認することが可能である。

劣化状態の識別

プラスチックの分子構造の変化もまたスペクトルの変化として現れる。図 3.2.3-8 および図 3.2.3-9 には PP および ABS を耐候試験器の中で 1 年分の日射量を照射し劣化(270MJ/m²)させたサンプルのラマンスペクトルを示す。

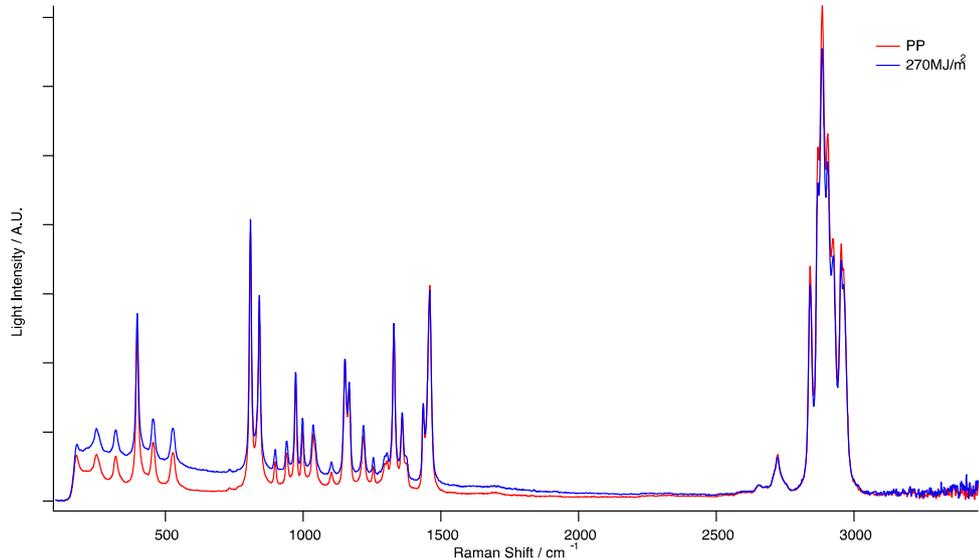


図 3.2.3-8：劣化していないサンプル(赤)と劣化したサンプル(青)のラマンスペクトル

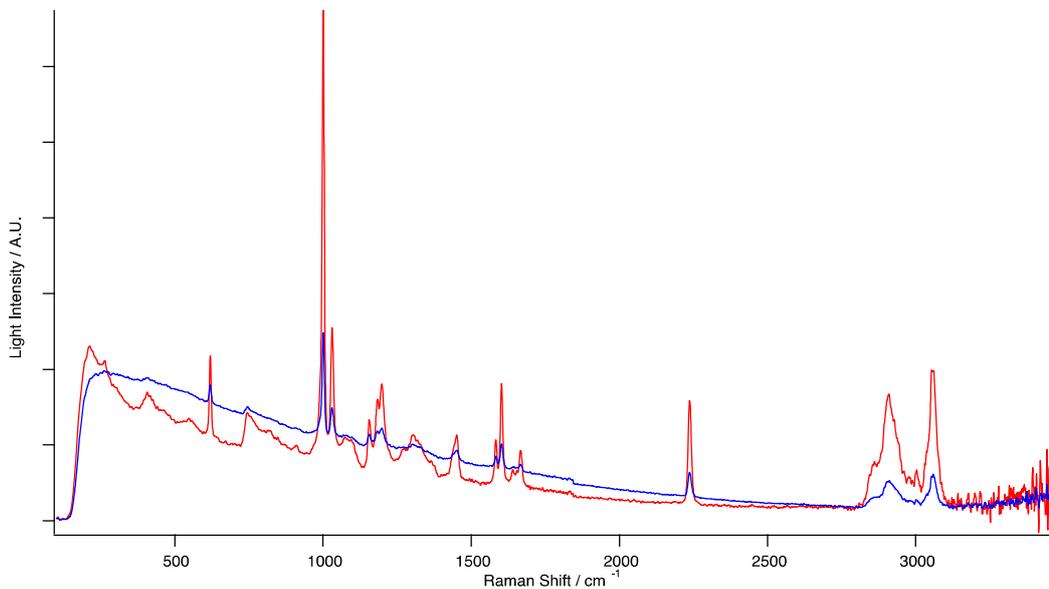


図 3.2.3-9：劣化していないサンプル(赤)と劣化したサンプル(青)のラマンスペクトル

劣化は一般的に主鎖が切断され分子量が低下する。図 3.2.3-8 および図 3.2.3-9 においても 3000cm⁻¹ 付近に存在する CH の振動に由来するピークが減少していることから主鎖が切断されたことが推測される。また、これまでとは異なり、ベースラインの変化を伴っていることも分かる。このような特徴を上手く捉えプラスチック識別処理に組み込むことで劣化の識別も可能になる。

2) 「黒色」廃プラスチックへのラマン散乱分光法の適用

家電由来「黒色」廃プラスチックでの測定結果の一例を図3.2.3-10に示す。装置の改良により、約7倍の散乱信号がプラスチックが燃えることなく得られた。家電由来では0.1秒(100ms)の測定でプラスチックの種類判定ができるスペクトルが得られた。黒色顔料であるカーボンブラック由来の炭素材料に特徴的な 1330cm^{-1} と 1580cm^{-1} 付近のピークがブロードになって見える。

ASR中のプラスチックはそのほとんどが黒色であるが一部には白色もある、この両方を、黒色用ラマン分光装置で測定した結果を図3.2.3-11に示す。当然、白色ではミリ秒オーダーでプラスチックの種類が判別できるようなスペクトルが得られた。一方、黒色では1秒程度の測定時間をかければ、どうにか判定できるようなSN比のスペクトルが得られることが分かった。また、ASR由来プラスチックは、白色も黒色もタルクを多く含み、矢印で示す低端数側にタルク由来の蛍光と思われる大きなピークが観測されることも分かった。ASRでのラマン散乱分光法処理では、こうした特徴を利用してプラスチックの識別を行う必要があると考えた。

多くの技術的工夫を詰め込んだ黒用ラマン分光装置は、かなり高額なものとなり、複数台準備してオンラインでの利用は今回できなかったが、他に適当な方法がない黒色プラスチックをオンサイトで識別できる性能を持っている。

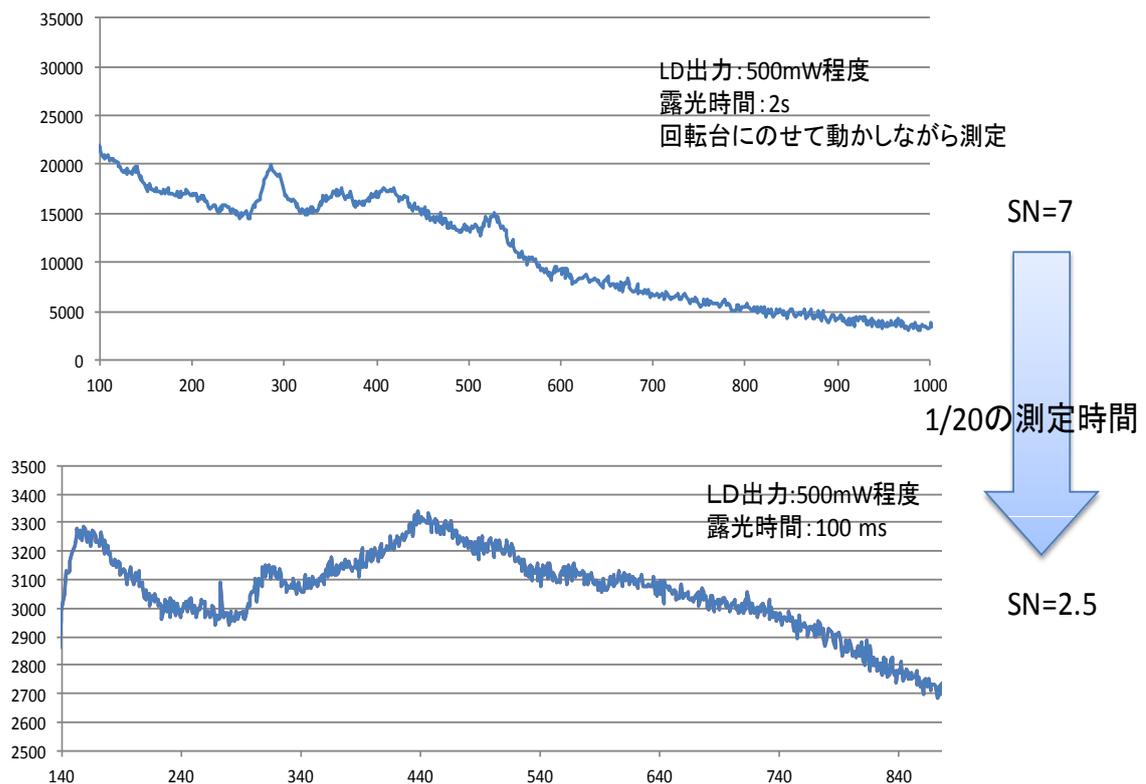


図3.2.3-10：家電由来「黒色」廃プラスチックのラマン散乱測定

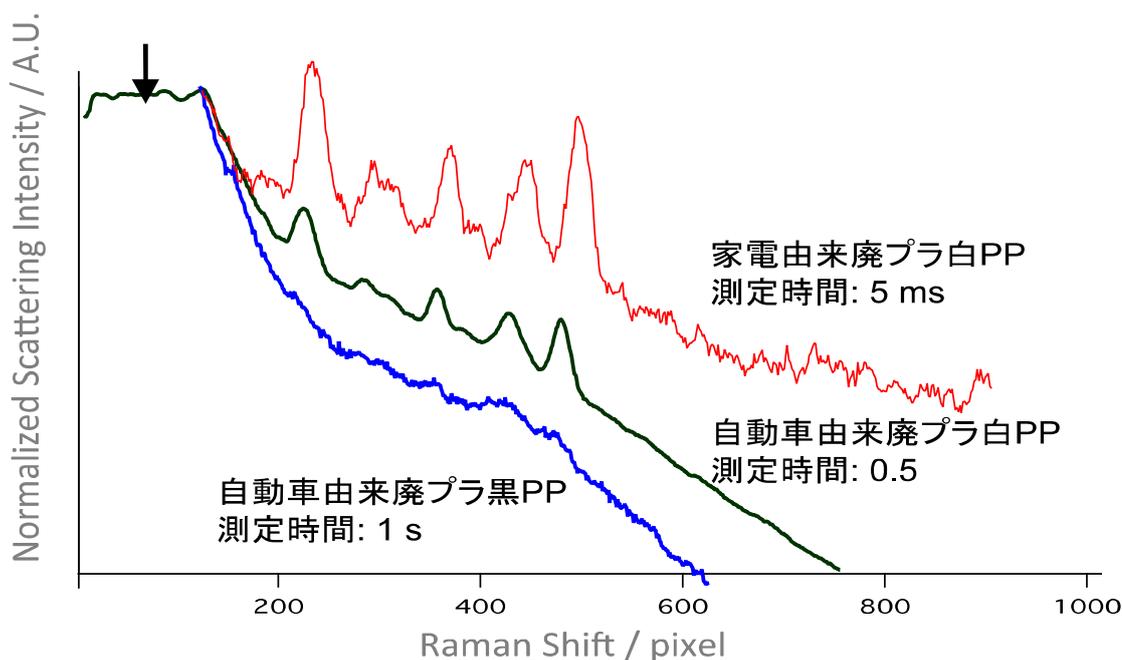
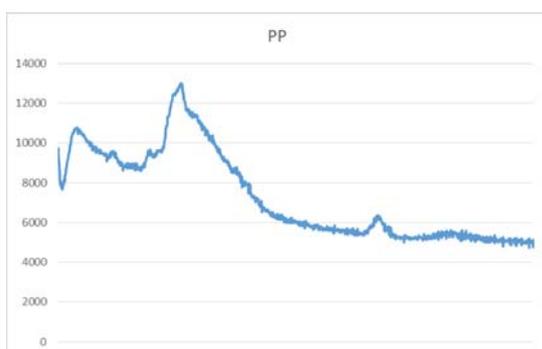


図3.2.3-11：ASR由来「黒色」廃プラスチックのラマン散乱測定

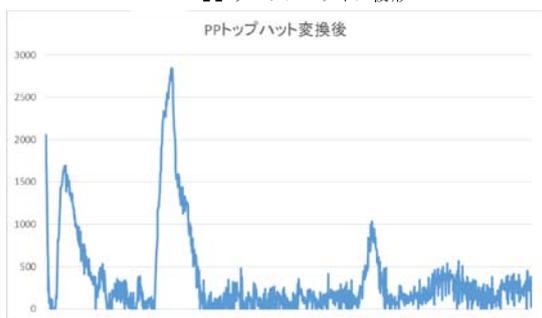
3) ラマン散乱分光法におけるデータ解析

ラマン散乱分光法は一般に、同じような振動構造に関する情報が得られる赤外吸収分光法に比べて分解能が高く、ピークが鋭く現れるという特徴を持っている。そのため、従来の家電由来廃プラスチックのリサイクルでは、特徴的なピークの強度比をプラスチックの種類の判定条件にしていた。しかし、先に見たよう黒色プラスチックでは、強度が弱く、カーボンブラックのブロードなピークやタルクの大きな蛍光に邪魔され、単純なピーク強度比での判定が困難になると考えられる。そこでスペクトル全体の形状から判定する方法、つまり、スペクトル強度の数値データの全部あるいは大部分を使用して、特徴抽出や多変量解析を行う方法、いわゆるパターン認識につき検討を行った。ここでは、マセマティカル・モルフォロジー（以下、モルフォロジー）法とクラスター解析を合わせて用いた結果を示す。

モルフォロジー法は、ミンコフスキー和、ミンコフスキー差、dilation、erosionのプログラムを、数式処理言語Mathematicaより作成し、それらのプログラムを組み合わせるラマンスペクトルにトッパット変換を実行した。その一例を図3.2.3-12に示す。



PP ラマンスペクトル波形



PP トップハット変換後の波形

```
ListDilation[obj_, se_] := Module[
  {a = obj, b = se},
  If[Length[se] > Length[obj], a = se; b = obj];
  ListConvolve[b, a, {1, -1}, -∞, Plus, Max]
]

ListErosion[obj_, se_] :=
  ListConvolve[se, obj, {-1, 1}, -∞, Subtract[#2, #1] &, Min]

ListClosing[obj_, se_] := ListErosion[ListDilation[obj, Reverse[se]], se]

ListOpening[obj_, se_] := ListDilation[ListErosion[obj, Reverse[se]], se]

ListTopHatTransform[obj_, se_] := obj - ListOpening[obj, se]

haar[r_] := Table[0, {j, 0, 2 r}]

dia[r_] := Join[Range[0, r], Reverse[Range[0, r-1]]]

hemisphere[r_] := Table[Round[ $\sqrt{2 r j - j^2}$ ], {j, 0, 2 r}]

gau[r_, h_] := Table[Round[h Exp[- $\frac{2 j^2}{r}$ ]], {j, -r, r}]
```

トップハット変換処理の記述

図3.2.3-12：モルフォロジー法解析例

このようにして得られたトップハット変換後のスペクトルに対して、プラスチック片毎の信号強度の変動の寄与を小さくするために、スペクトルを正規化し、それをクラスター解析した。図3.2.3-13にはクラスター解析の結果を直交座標系にプロットしたものを示す。第一象限と第四象限に広がる赤いプロットがABS、第二象限の青いプロットがPS、第三象限の緑のプロットがPPである。各プロット全体の重心は濃い点で示してある。各プロットは分離されており、ABSとPSに一部重なりがあること、PPは他とは離れていることなど、プラスチックの性質やスペクトルの特徴を反映した結果が得られた。この一連の解析方法には、モルフォロジー法でのオープニング処理のパラメータ「r」ひとつしかなく、プラスチックリサイクル現場の色々な状況に一意的に対応できる利点がある。この結果は、判定方法の可否を判断するために白色プラスチックを使用したものであるが、パターン認識がラマンスペクトルでも適用可能であることが示された。

正規化とクラスター解析処理の記述

```
tmpdata = Table[N[ $\frac{\text{ListTopHatTransform}[\text{data}[[j]], \text{haar}[20]]}{\text{ListOpening}[\text{data}[[j]], \text{haar}[20]]}$ ], {j, Length[data]}];

ps = Part[tmpdata, Flatten[Position[sort, label[[3]]]]];

pp = Part[tmpdata, Flatten[Position[sort, label[[2]]]]];

abs = Part[tmpdata, Flatten[Position[sort, label[[1]]]]];
```

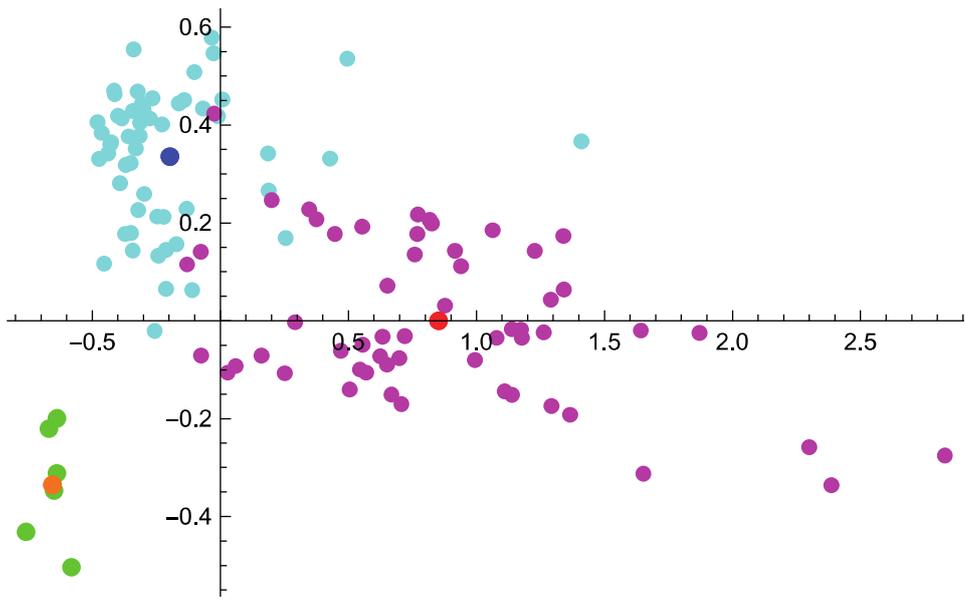


図3.2.3-13 : クラスタ解析例

3.3 A S Rの高度分別処理

本章では、まず「3.3.1」においてA S Rの比重差選別実証試験について述べ、「3.3.2」においてラマンソーターによるA S R黒色プラスチック識別方法、及び比重差選別後のプラスチックに対する分別実証試験結果について述べる。

3.3.1 比重差選別処理

再資源化施設 a、b、cの各々から受入れたA S Rについて、粉碎機、風力選別機、篩選別機、並びに水比重選別機・重液比重選別機から構成される処理システムで選別処理を行った。

全体の処理フローを図3.3.1-1に示す。

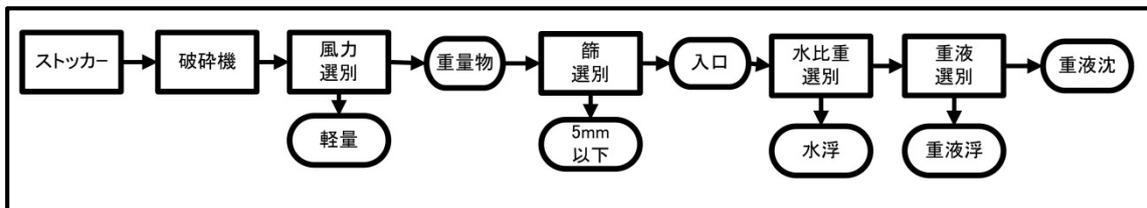


図 3.3.1-1 全体の処理フロー

また、図3.3.1-2は水比重差選別・重液比重差選別処理の詳細を示す。

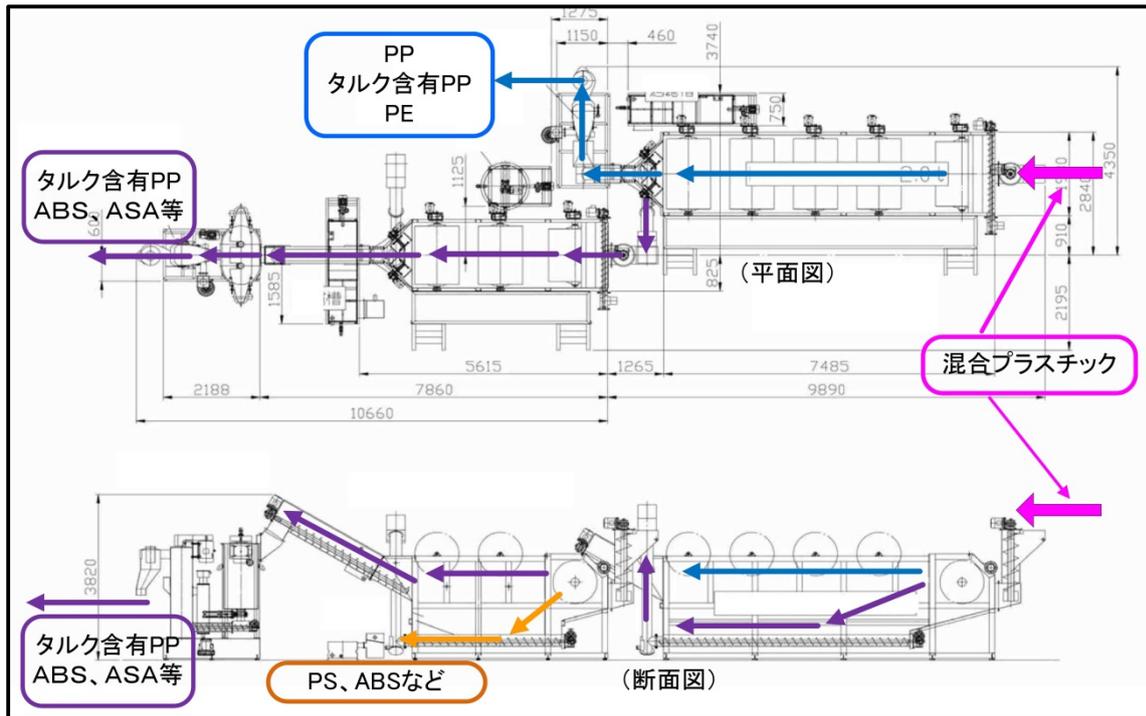


図 3.3.1-2 水比重・重液比重選別装置

図3.3.1-1の全体処理フローの各部位で回収された重量を測定して得られたマテリアルバランスを図3.3.1-3に示す。

マテリアルバランスの図 3.3.1-3 から以下の事が明らかになった。

- ・ a 施設 A S Rにおいて、

水浮き成分 : 44.2%

重液（比重：1.07）浮き成分 : 21.6%

重液沈降成分 : 25.6%

の回収比率に関するマテリアルバランスを基準に他施設の回収バランスを比較すると以下の特徴が挙げられ、原因の確認等が今後必要である。

- ・ c 施設 A S Rにおいて、風力選別で除去される量が 22.7%（a 施設では 2.5%）となっており、c 施設での処理工程における改善が必要である。
- ・ b 施設の手選別回収品は、a 施設における上記の 、 、 の各々の部位での回収比率が同程度であるべきと想定されるが、b 施設内での水比重選別の浮き成分に関する回収比率と同程度となっており、原因の確認が必要である。
- ・ 一方、b 施設での水比重選別における水沈降品に対する選別結果では、本来、ゼロに近い回収量であるべき水浮き成分が 21.7%も回収されていることは、b 施設側の水比重選別における処理方法、及び水質管理などの状況を確認する必要がある。

図 3.3.1-4～図 3.3.1-7 に全体処理フローの各処理工程における回収物の写真を再資源化施設間の比較として示す。

特徴的な比較は次の通りである。

- ・ 図 3.3.1-4 より、処理工程への投入前の対象物粒度として、c 施設が大きく、夾雑物も目視確認で明瞭に識別できる。風力選別における除去物である軽量物について、c 施設は粒度の大きいウレタンが散見される。a 施設の風力選別除去物は、綿上のものである。
- ・ 図 3.3.1-5 より、a 施設は破碎粒度が細かい事に起因して、5mm アンダーのダスト相当の除去物の粒度が極めて細かい。
- ・ 図 3.3.1-6 より、c 施設の水浮き回収物は、破碎粒度が大きい事により、木くず・ゴムの夾雑物が目視で多く確認できる。a 施設の水浮き回収物は、細かなゴム夾雑物が多く確認できる。
- ・ 図 3.3.1-7 より、a 施設、c 施設の各々の重液沈降物において、配線類が多く確認できるが、重液浮き成分の中にも一部配線類の混入が認められる。

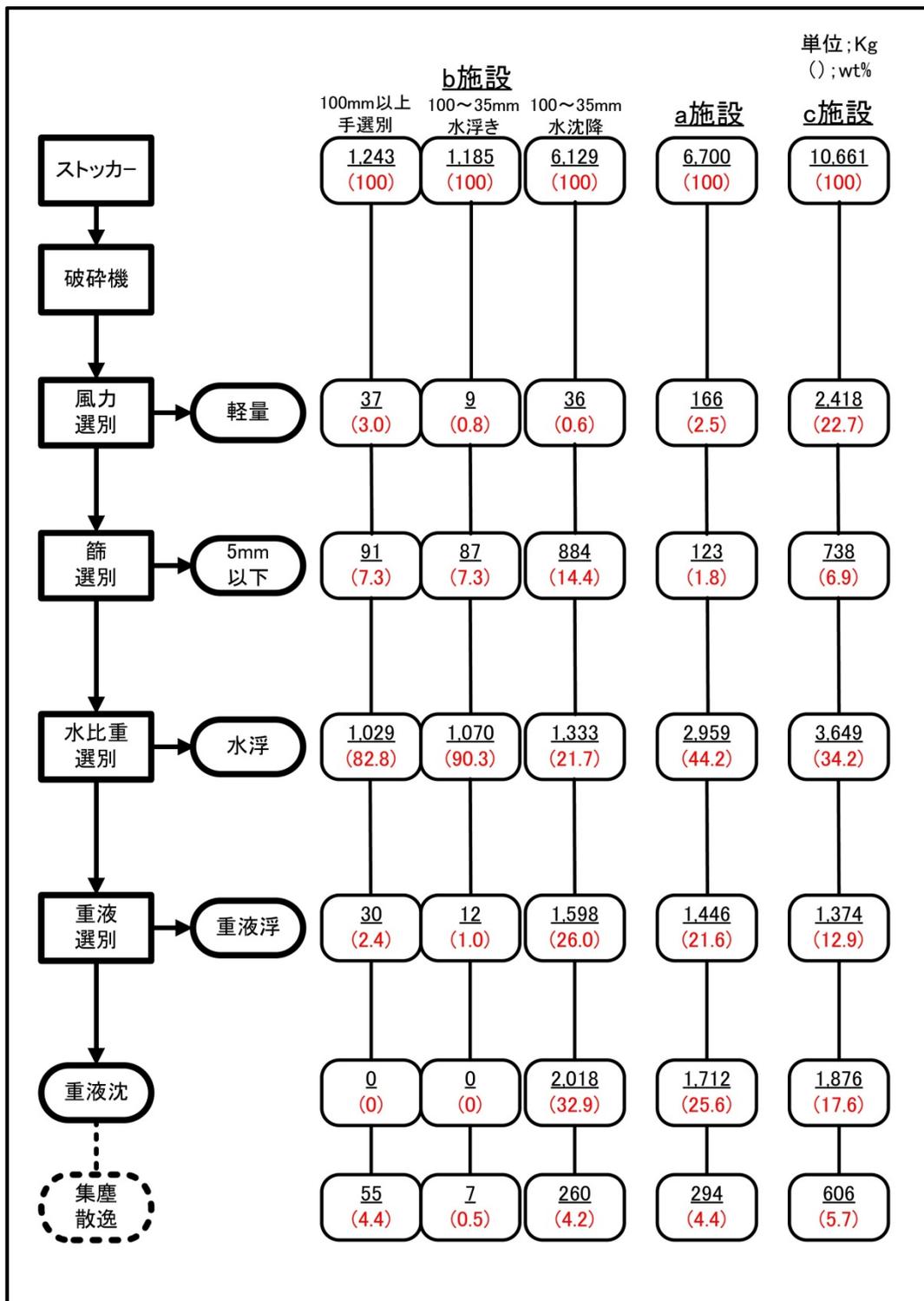


図 3.3.1-3 処理結果のマテリアルバランス

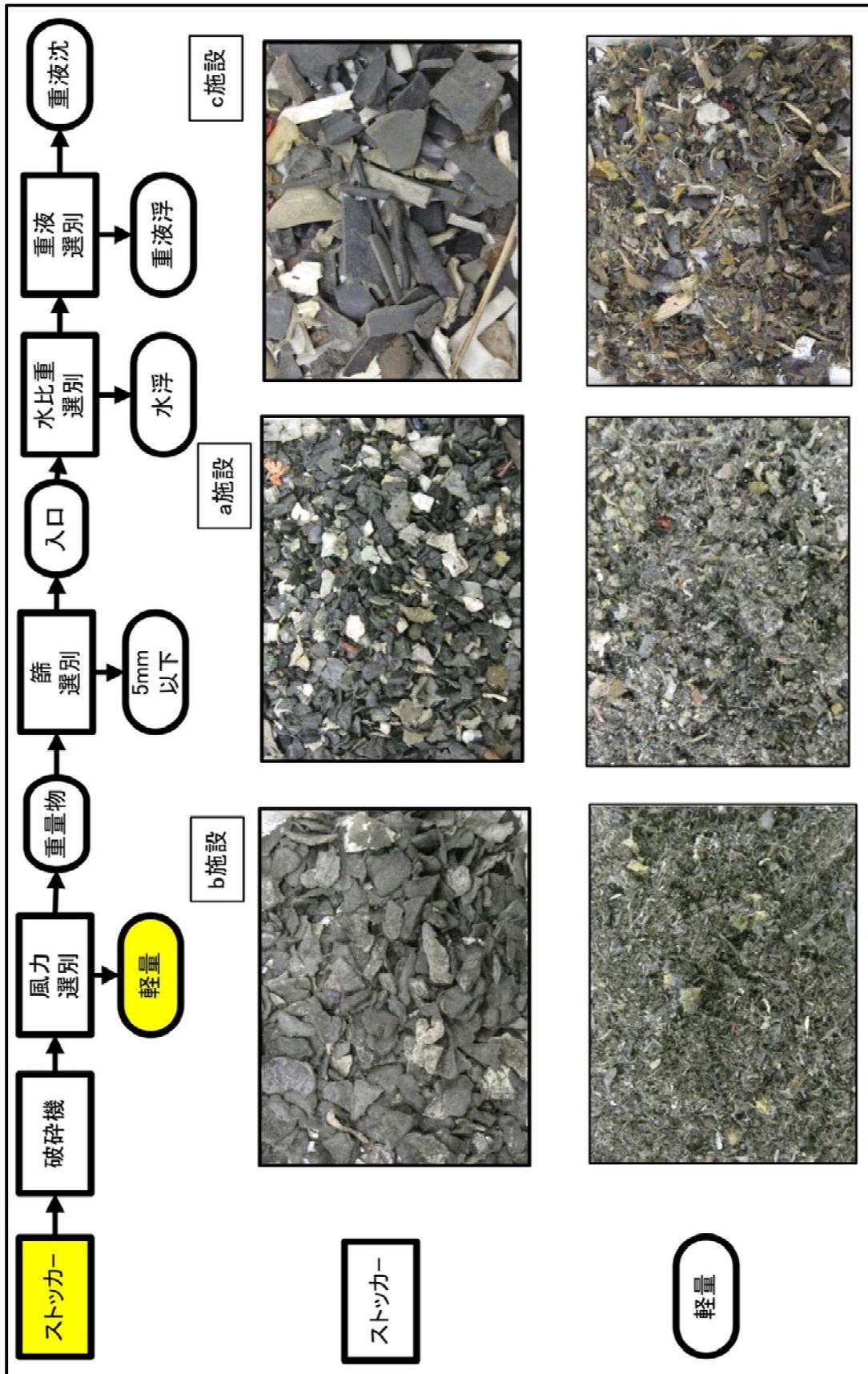


図 3.3.1-4 全体処理フロー-回収物 (1 / 4)

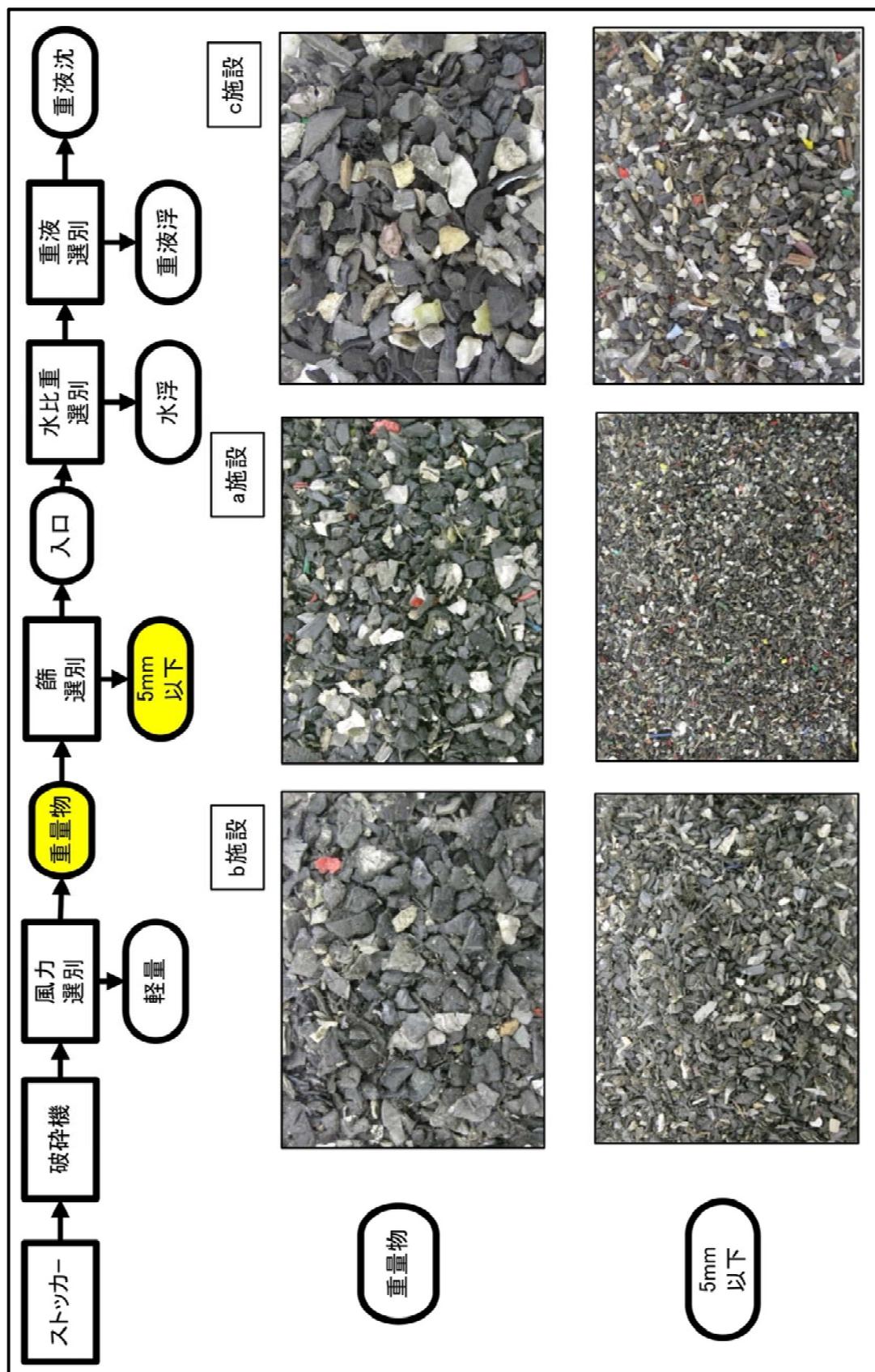


図 3.3.1-5 全体処理フロー-回収物 (2 / 4)

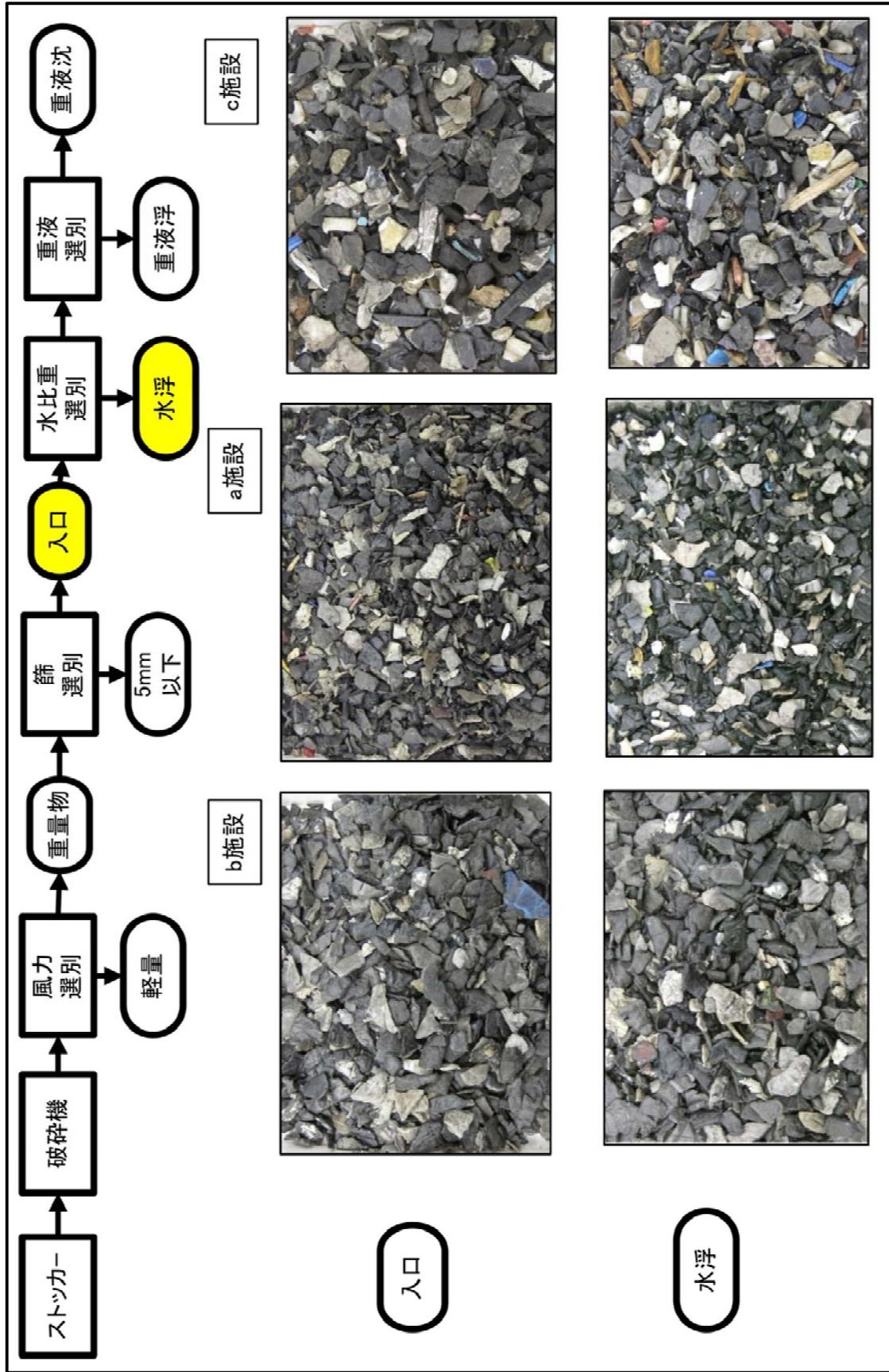


図 3.3.1-6 全体処理フロー-回収物 (3 / 4)

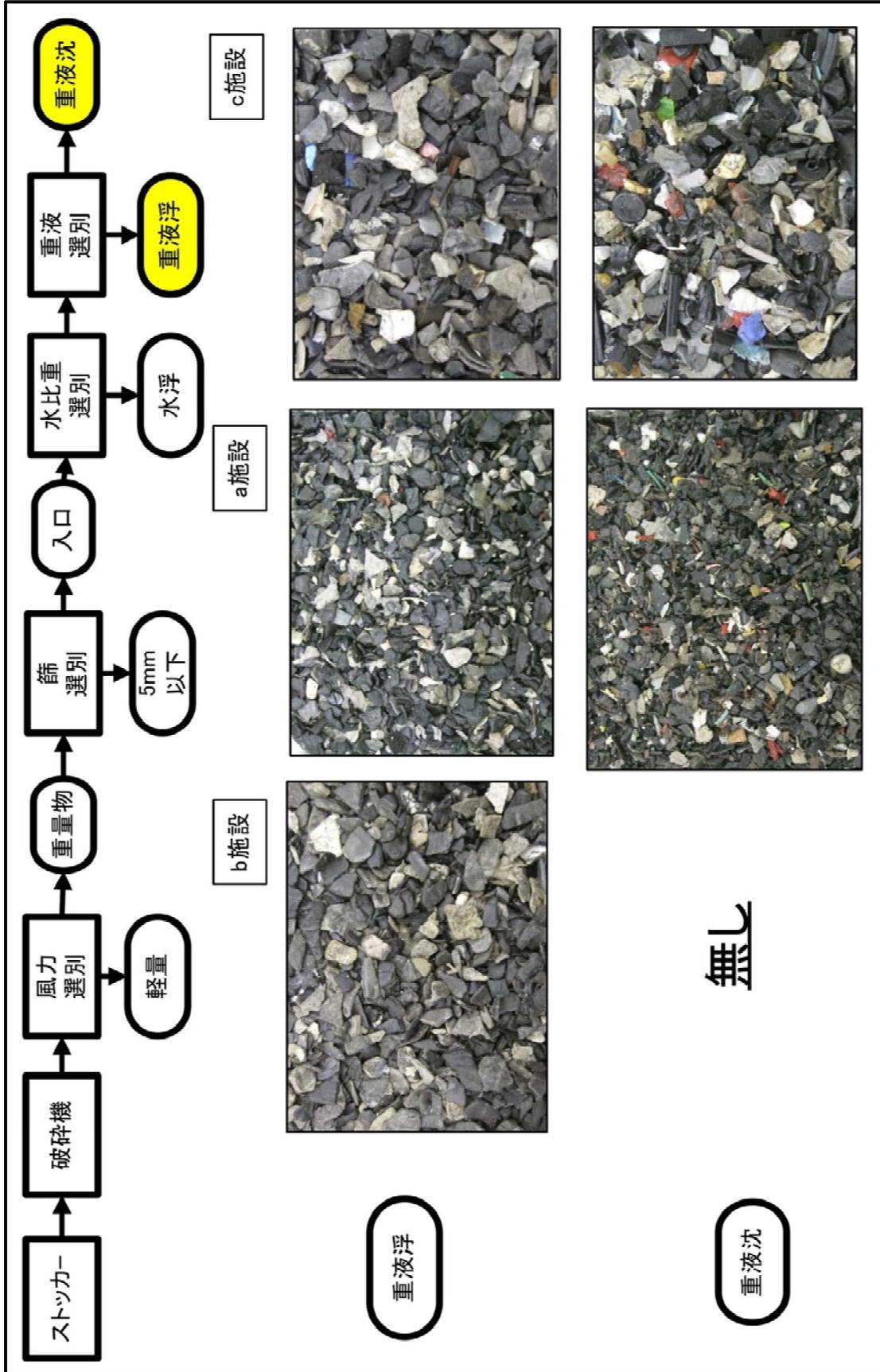


図 3.3.1-7 全体処理口一回収物 (4 / 4)

1) 水比重・浮き成分におけるプラスチック種別と添加剤タルク含量分析

水比重選別の浮き成分として回収されたプラスチック（図 3.3.1-3 及び図 3.3.1-6 参照）について、含有プラスチックの種別を赤外分光分析装置により、サンプル分析を行った。分析結果を表 3.3.1-1 に示す。

- ・水比重選別装置において、浮き成分として回収されるプラスチック種別はいづれの施設から搬入される A S R についても、ほぼ 90% は P P である。
- ・P E の含有量は、多い場合でも約 12%、平均的には 5% ~ 8% 弱である。
- ・再資源化施設の水比重選別・沈降として持ち込まれたものにおいて、水比重浮きとして回収されるものが約 55% あることについては、再資源化施設での処理工程、水質管理状況の確認が必要である。

表 3.3.1-1 水比重・浮き成分中のプラスチック種別(wt%)

	b 施設			a 施設	c 施設
	100mm以上	100mm~35mm	100mm~35mm		
	手選別	水浮き(*)	水沈降(*)		
PP	91.7%	91.1%	55.1%	87.3%	90.4%
PE	5.4%	7.6%	0.8%	12.2%	6.5%
その他	2.9%	1.2%	44.1%	0.4%	3.1%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

注記(*)：再資源化施設での水比重選別を表す。

注記；本表の表計算では、小数点以下表記設定により合計欄と表記数字に一部差異がある。

P P 判定のサンプル試料片について、蛍光 X 線分析装置により、添加剤タルクの含有量を分析した。結果を表 3.3.1-2 に示す。

- ・水比重選別の水浮き成分として回収されるプラスチックの約 60% 程度は、添加剤タルクを含まない純粋な P P である。
- ・添加剤タルク含量 15% の P P が比重約 1.0 であることを考慮すると、タルク含量 20% 以上の P P が水浮き成分として混入しており、水比重選別装置の水質管理状況の確認が必要であり、今後、選別精度の維持向上に注意を払う必要がある。

表 3.3.1-2 PP 種別中のタルク含量比率(試料片数相対比率)

タルク含量 (wt%)	b 施設			a 施設	c 施設
	100mm以上	100mm～ 35mm	100mm～ 35mm		
	手選別	水浮き(*)	水沈降(*)		
無	35.2%	64.1%	5.1%	61.6%	60.4%
5%	3.3%	7.6%	0.0%	2.3%	4.4%
10%	4.4%	7.6%	5.1%	3.5%	6.6%
15%	13.2%	9.8%	10.2%	3.5%	11.0%
20%	6.6%	7.6%	13.6%	16.3%	5.5%
25%	11.0%	2.2%	18.6%	5.8%	4.4%
30%	13.2%	1.1%	15.3%	2.3%	4.4%
35%	11.0%	0.0%	18.6%	4.7%	1.1%
40%	2.2%	0.0%	3.4%	0.0%	2.2%
45%	0.0%	0.0%	8.5%	0.0%	0.0%
45%以上	0.0%	0.0%	1.7%	0.0%	0.0%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

注記(*)：再資源化施設での水比重選別を表す。

注記；本表の表計算では、小数点以下表記設定により合計欄と表記数字に一部差異がある。

2) 重液比重・浮き成分におけるプラスチック種別と添加剤タルク含量分析

重液比重選別（重液比重 = 1.07）の浮き成分として回収されたプラスチック（図 3.3.1-3 及び図 3.3.1-7 参照）についても、含有プラスチックの種別を赤外分光分析装置により、サンプル分析を行った。分析結果を表 3.3.1-3 に示す。

- ・重液比重選別の浮き成分として回収されるプラスチックは、PP と ABS が主体であるが、PP が圧倒的に多く 75%～97%となっている。

表 3.3.1-3 重液比重・浮き成分中のプラスチック種別(wt%)

	b 施設			a 施設	c 施設
	100mm以上	100mm～ 35mm	100mm～ 35mm		
	手選別	水浮き(*)	水沈降(*)		
PP	91.7%	91.1%	55.1%	87.3%	90.4%
PE	5.4%	7.6%	0.8%	12.2%	6.5%
その他	2.9%	1.2%	44.1%	0.4%	3.1%
合計	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

注記(*)：再資源化施設での水比重選別を表す。

注記；本表の表計算では、小数点以下表記設定により合計欄と表記数字に一部差異がある。

b 施設の手選別回収品（100mm 以上）と（100mm～35mm）水浮き成分で種別 P P のサンプル試料片について、蛍光 X 線分析装置により、添加剤タルクの含有量を分析した。

結果を表 3.3.1-4 に示す。

- ・重液比重選別の浮き成分は比重 1.0～1.07 の範囲を回収するものであり、タルク含量 20%以上、30%未満に該当するものとなる。回収割合から見るとこの部分が約 48%～56%となっており、重液比重選別の精度向上が必要な結果となっている。

表 3.3.1-4 重液分別 PP 種別中のタルク含量比率(試料片数相対比率)

タルク含量 (wt%)	100mm以上	100mm～ 35mm
	手選別	水浮き(*)
無	0.0%	2.1%
5%	2.1%	0.0%
10%	3.2%	0.0%
15%	6.3%	12.4%
20%	24.2%	21.6%
25%	24.2%	35.1%
30%	15.8%	21.6%
35%	17.9%	6.2%
40%	6.3%	1.0%
45%	0.0%	0.0%
45%以上	0.0%	0.0%
合計	100.0%	100.0%

注記(*)；再資源化施設での水比重選別

3) 比重選別回収プラスチックに対する臭素系難燃剤含有評価

水比重選別・重液比重選別の回収プラスチックに対して、臭素系難燃剤含有の有無を確認する試験を行った。

回収プラスチックの各々から約 200g 程度のサンプルを採取して、透過型 X 線装置にて Br 含有の有無をまず分析した。

Br 含有が検知されたプラスチックサンプルに対して、蛍光 X 線分析装置により、含有 Br 量を測定した。

図 3.3.1-8 は、Br 検知の測定に用いた透過型 X 線装置であり、図 3.3.1-9 は検査対象物中に Br 非含有を示すモニタ画面であり、図 3.3.1-10 は、含有の場合を示すモニタ画面である。



図 3.3.1-8 透過型 X 線装置



図 3.3.1-9 Br 無しの検知結果



図 3.3.1-10 Br 有の検知結果

a) 水比重選別・浮き成分の評価結果

水比重選別の浮き成分 (図 3.3.1-3 参照) の全てに関して、透過型 X 線装置による Br 検知は無しであった。図 3.3.1-11 は、検査対象としてプラスチック粉砕片のサンプル物量を示す。



図 3.3.1-11 検査対象物量

b) 重液比重選別・浮き成分の評価結果

a 施設及び b 施設 35mm ~ 100mm 水浮き品の重液比重選別・浮き成分からは、透過型 X 線装置による Br 検知は無しであった。

b 施設の 100mm オーバー品からは、1 個の破砕片で Br 検知があり、蛍光 X 線分析で含有量が 54,749.8ppm の結果を得た。

(図 3.3.1-12 参照)

当該取得サンプルに関する Br 濃度は、重量比から 54.75ppm となった。

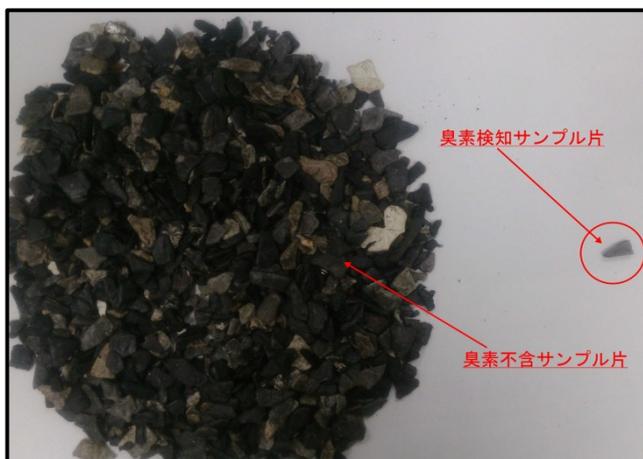


図 3.3.1-12 Br 検知サンプル

b 施設の (35mm ~ 100mm)

水沈降品由来の重液浮き成分サンプルからは、2 つのサンプル片で Br 検知があり、各々、17,072.7ppm と 48,163.7ppm であった。

重量比による換算を行い当該取得サンプルの Br 濃度は、20.94ppm であった。

c 施設の重液浮き成分サンプルから、1 個の破砕片で 37,997.8ppm の Br が検知された。評価対象として採取したサンプル総数に対する重量比から、このサンプル全体では、38.0ppm となった。

c) 重液比重選別・沈降成分の評価結果

a 施設の沈降成分からは、透過型 X 線装置による Br 検知は無しであった。

c 施設の沈降成分からは、4 個の破砕片で Br が検知され、各々、38,830.2ppm、51,428.1ppm、54,904.3ppm、及び 49,405.5ppm であった。各々の破砕片の全体サンプルに対する重量比から、サンプル全体では、176.44ppm となった。

3.3.2 ラマン散乱分光法処理

3.3.2-1 ラマンソーターシステム

1) ラマンスペクトル検知法

プラスチックの識別方法

ラマン分光法では測定対象にレーザーを照射しラマンスペクトルとよばれる信号を取得する。このラマンスペクトルは測定対象の物質に含まれる分子構造に由来し、同じ物質であれば同じ形状のラマンスペクトルが得られる事が一般的に知られている。物質の同定は、この特長を利用し既知のスペクトルデータと測定したデータを比較することで可能となる。具体的には FTIR を用いたプラスチックの識別で行うように、帰属の確認されているいくつかのピークの有無を確認することでプラスチックの材質を確認する。

ラマンソーターは連続的に決められた2点を監視し差を算出する、一定の条件を満たした信号が入ると該当するプラスチックと認識し選別装置に信号を送る。例えば、ポリスチレン(PS)であれば PS と断定できるピークが 1000cm^{-1} 付近にある。そのため一定のポイントの差を連続的に計算し、一定以上の差があればポリスチレンがベルコトンベア上に流れてきたと判断する事が出来る。

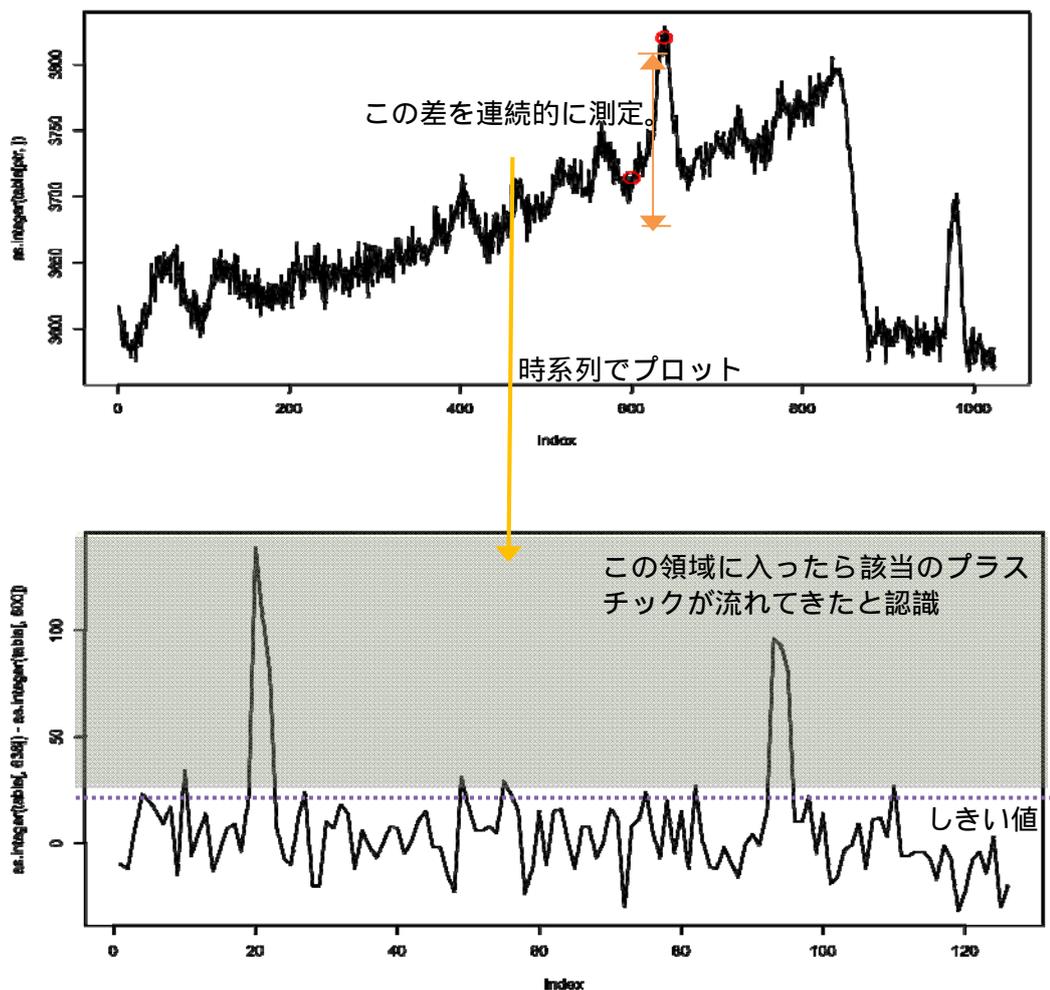


図 3.3.2-1 現場装置でのラマンスペクトルとプラスチックの識別方法

図 3.3.2-1 は、(株)サイム関西事業所で測定した PS のラマンスペクトル。測定時間 3ms。ベルト速度 100m/分。横軸は波数、本装置では CCD インデックスで表記。縦軸は光強度。赤の 2 点の差を連続的に計算する。下の図はその結果を時系列で表示したもの。横軸は時間、縦軸は 2 点の差(以下、ピーク強度)。該当する部分にピークを持つスペクトルが読み込まれたときに信号強度が跳ね上がる。実際の演算は複数個所を測定しその複合条件から結果を得る。

タルク含有量による識別

これまでの研究成果として試薬で販売されているポリプロピレン(PP)にタルクを添加し九州大学のラマン分光器で測定した結果がある。その結果からタルク含有 PP ではタルクの影響を受け左側が立ち上がる事が分かっていた。また、その高さはタルク含有量に 比例する。そのため本事業ではこの強度による PP 含有量による選別の可能性を確認する。

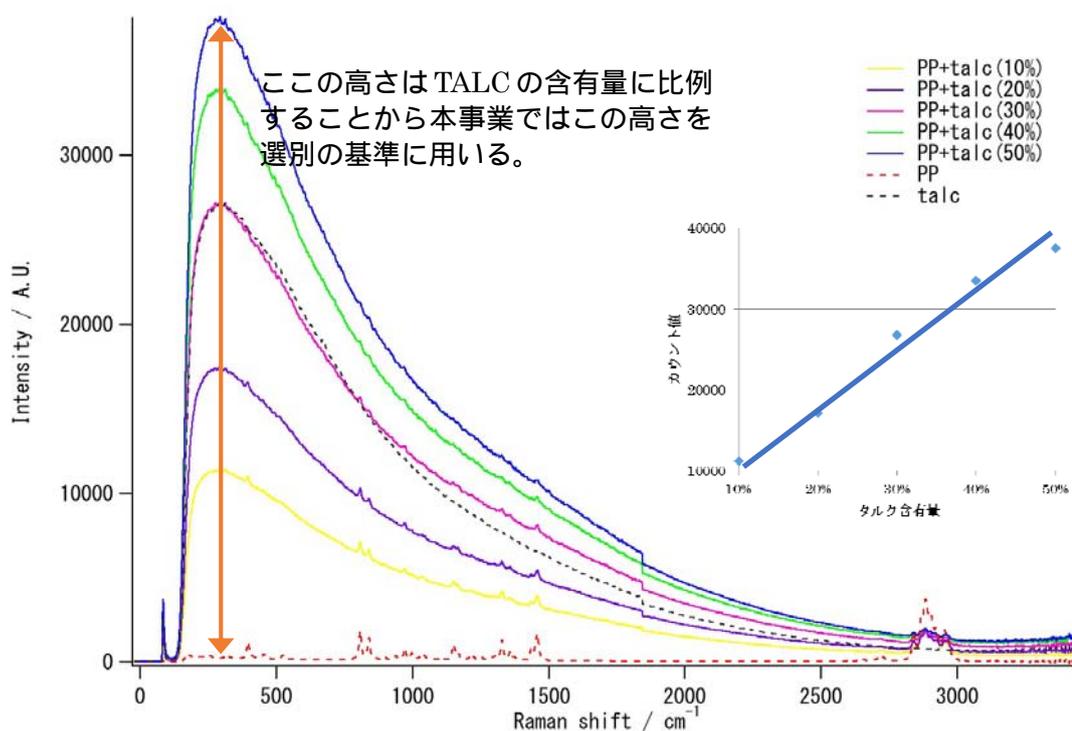


図 3.3.2-2 タルク含有 PP のラマンスペクトル

図 3.3.2-2 は、レニショウ社製のラマン分光器で測定したラマンスペクトルを示すものであり、赤の点線は混合前の PP、黒の点線は混合前のタルクを各々示す。PP の特徴的な 2 つ並びのピークが 800cm-1 付近に見られる。タルク含有 PP は添加量に従い左側が上がっている。図 3.3.2-2 の右中央にタルクに特徴的な立ち上がりの高さとタルク含有量を比較したプロットした。タルク含有量と立ち上がりの高さが比例関係にある事が確認できた。

黒色プラスチックの識別

ラマンソーターは白色のプラスチックを大量処理するために最適化された装置であり、黒色のプラスチックではラマンスペクトルを白色プラスチックほどきれいに取り込むことはできない。具体的には黒色プラスチックでは白色の 1/100～程度の信号しか得ることができない。そのため、白色プラスチックのようなピークによる識別は不可能である。

しかしながら、今回のターゲットはタルク含有量による識別であるため、ラマンスペクトルのピークより強度の強いタルクに特徴的な信号であれば可能性がある。そこで福岡の本社/工場においてベンチテストを行った。図 3.3.2-3 にベンチテストのセットアップを示す。

ベンチテストではターンテーブルに今回ターゲットとしている ASR 由来のプラスチックを 8 個貼り付け、回転させながらラマンスペクトルを連即的に測定した。測定に用いたプラスチックは PP1 と PP2 の選別結果を FTIR と EDX により材質と TALC 含有量を 確認した物を使用した。また、ラマンスペクトル測定には実際の状況を確認するため関西事業所に設置している物と同じ装置を用いた。

実験の結果、ASR 由来の黒色 PP で何も無い状態との差が確認できたため黒色プラスチックの識別は可能であると判断した。



図 3.3.2-3 ベンチテストのセットアップ

図 3.3.2-3 において、左側に回転台とその上に貼り付けた ASR 由来のプラスチックを示す。回転台の速度は 800rpm に設定した。中央の黒く細長い物がセンサー部。実際の選別ラインと同じく LD 強度は 1.5w、露光時間は 3ms。この装置でラマンスペクトルを測定

し奥の装置で信号所処理をおこなう。信号処理装置の上には設定用のコンピューターを設置。

本装置を用いてターンテーブル上に貼り付けたプラスチックを連続的に測定し、そのスペクトルデータを信号処理ソフトで解析した結果を以下に示す。

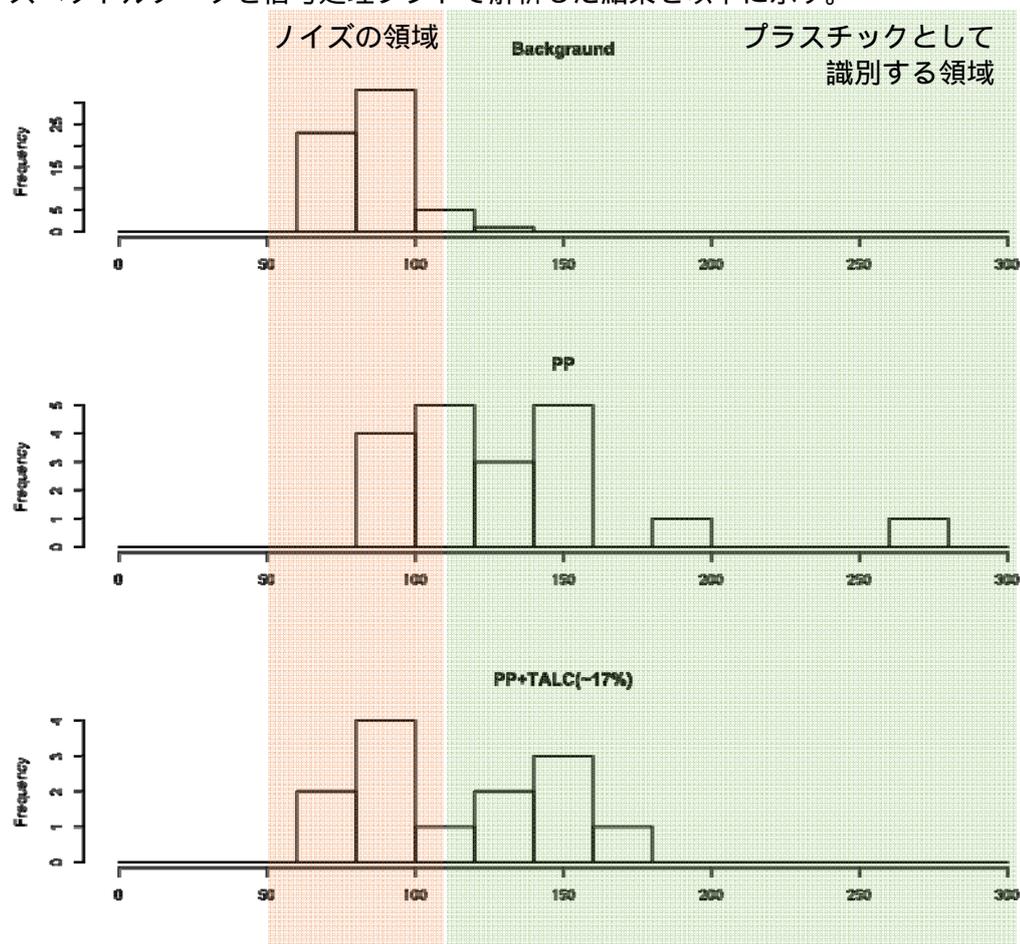


図 3.3.2-4 ベンチテストの測定結果

本テストでは、タルクが検出されていないPPおよび17%以下のタルク含有PPを測定した結果をノイズ部分、PP部分、17%以下のタルク含有PP部分で切り出し、タルクに特徴的な立ち上がりの高さをそれぞれヒストグラムとしてプロットした。図 3.3.2-4 に示す結果からバックグラウンド（対象物の無い状態）では信号が50から120カウント付近で分布するのに対し黒色PPやタルク含有の黒色PPでは50から200カウントの間で分布する事がわかった。このことからラマンソーターで黒色プラスチックを識別し分別することの可能性が見えてきた。

黒色タルク含有プラスチックの識別

次にラマンソーターでの識別可能性を確認するため、今回ターゲットとしたタルク含有量 17%以下、17%から 30%、30%以上の物において信号強度の分布に違いが出るのか確認した。その結果を図 3.3.2-5 に示す。

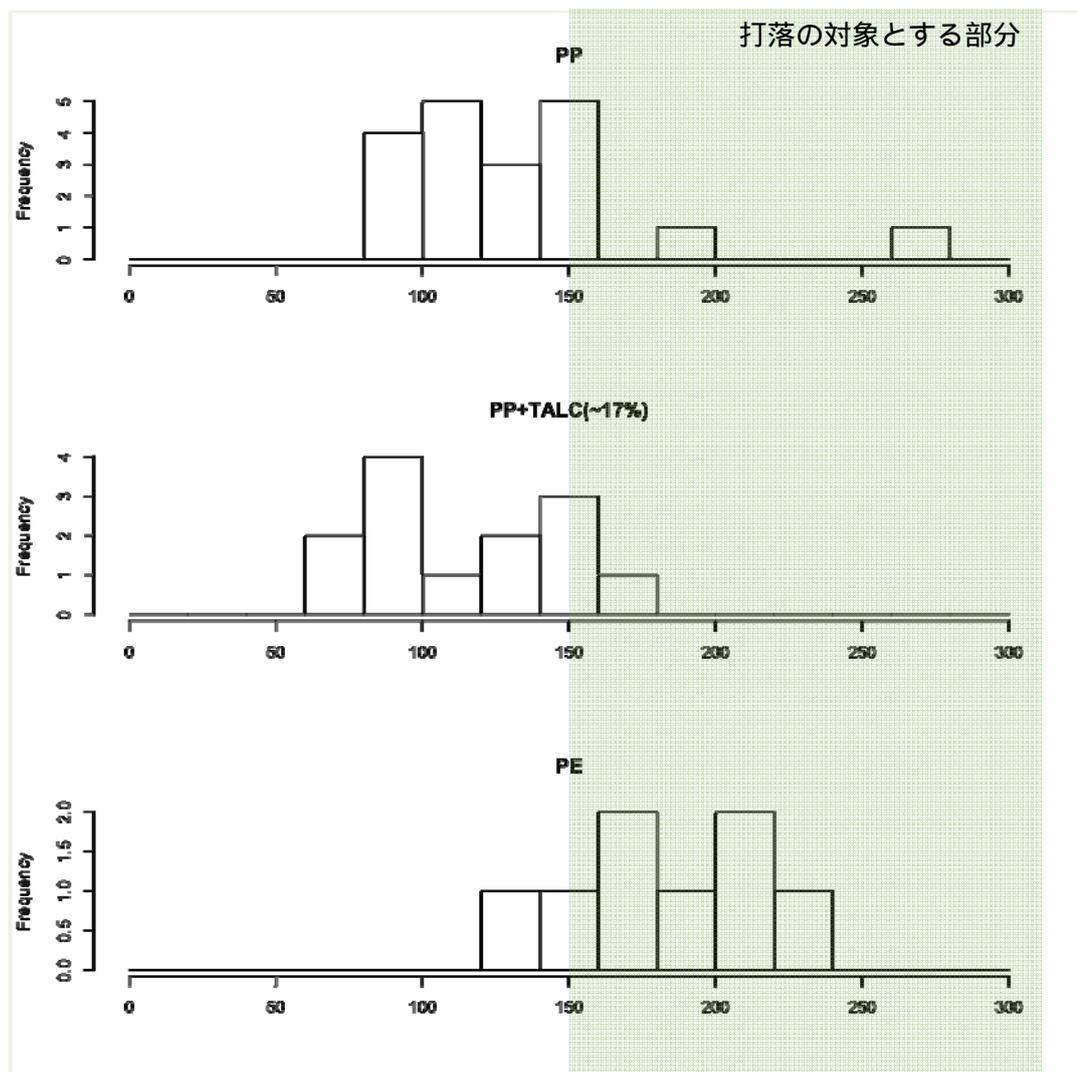


図 3.3.2-5 PP1 に多く含まれる PP, PP+TALC(~17%)および PE の信号強度の分布。

図 3.3.2-5 において、横軸がタルクに特徴的な立ち上がりの高さで縦軸が出現回数を示す。現状ラマンソーターでは一定のしきい値より強い信号がある場合、該当のプラスチックがきたと認識して打ち落とす。そのため、しきい値を 150 に設定した場合、PP、PP+TALC(~17%)のグループと PE で分離できると推測できる。

2) エアブローシステム構成

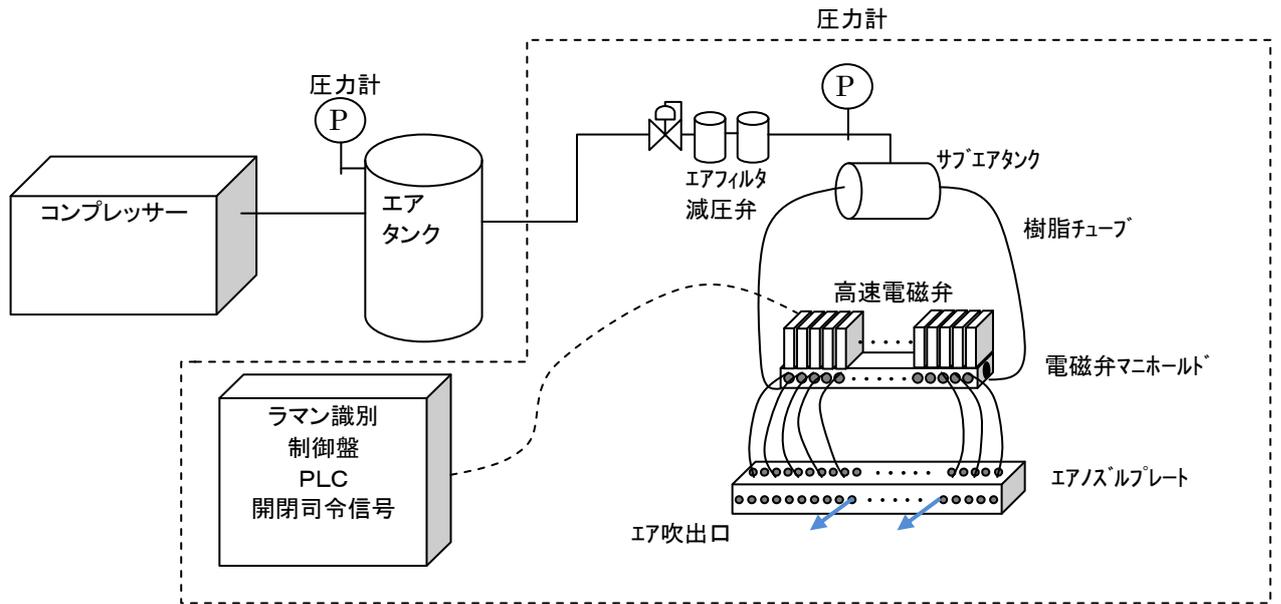


図 3.3.2-6 エアブローシステムの構成

エアブローシステムの構成を図 3.3.2-6 に示す。エア吹出口は、選別対象となるプラスチックの走行ルート上に 50 チャンネル分あり、ラマン識別制御盤からの吹き出し信号を受ける高速電磁弁の開閉に応じて、エア吹出しを行う。

3) 装置運転条件の設定

エアブローノズル位置

高速ベルトコンベアから飛び出す破碎プラスチック片をブローする位置の検討については、コンベア末端からプラスチック片が水平投射される軌跡を加味して設定している。尚、ブローノズルの位置は調整可能とし下記調整代を有している。

上下	50mm
前後	40mm
角度	60°程度

現状のエアブローノズルの位置は下記観点にて実ワークの流品試験状態を確認し、現場調整にて設定している。

- 様々な形状の実ワークでの流品状態にてエアブローノズルにワークが衝突しないこと
- エアブロー動作時にブロー品がコンベアプーリに衝突しないこと
上記を満足した上で可能な限りワークに近接した箇所。

[現状設定位置]

高速搬送ベルト上面から 高さ方向で 10mm 上方の位置
且つ、コンベアプーリ先端から搬送方向で 15mm の位置

仕切板位置

実ワークでの流品試験にて、コンベアから飛び出したワークの軌跡を画像にて確認した。実ワークの場合、ワークサイズのばらつき、形状（粒状、板状）の違い等により、エアブローしない場合においても、その飛行軌跡は一筋ではなく相応の帯域幅を持っている。

図 3.3.2-7 にワークの飛行軌跡幅を示す。



図 3.3.2-7 ワークの飛行軌跡幅

また、エアブローにて選別打ち落としされるワークの軌跡において、個々のワークの重心位置に吹き出し力が有効に作用すれば、軌跡は下方に鋭く変化する。

一方さまざまな形状のワークの飛び出しの向きや位置、ブロータイミング等の要因で、場合によっては軌跡が鋭く変化しない場合もある。また、エアブロー選別における選別ワークが未選別（ノンエアブロー）ワークに衝突したり、近隣エアブローの影響によりノンブローワークの共連れで軌跡がノンブロー側から逸脱する場合も見受けられた。

（仮にこれらをグレーゾーンと仮称する）

エアブロー選別による軌跡の変化については大別すると図 3.3.2-8 に示す通りとなる。

- a) 選別され鋭く軌跡が下方に変わるもの
（明らかなブロー選別品）
- b) グレーゾーン品
（ブロー選別されたが軌跡の変化が緩やか、またはノンブロー品だがブロー側に軌跡が変化）
- c) ブロー選別されず軌跡が変わらないもの
（あきらかなブロー選別 対象外品）

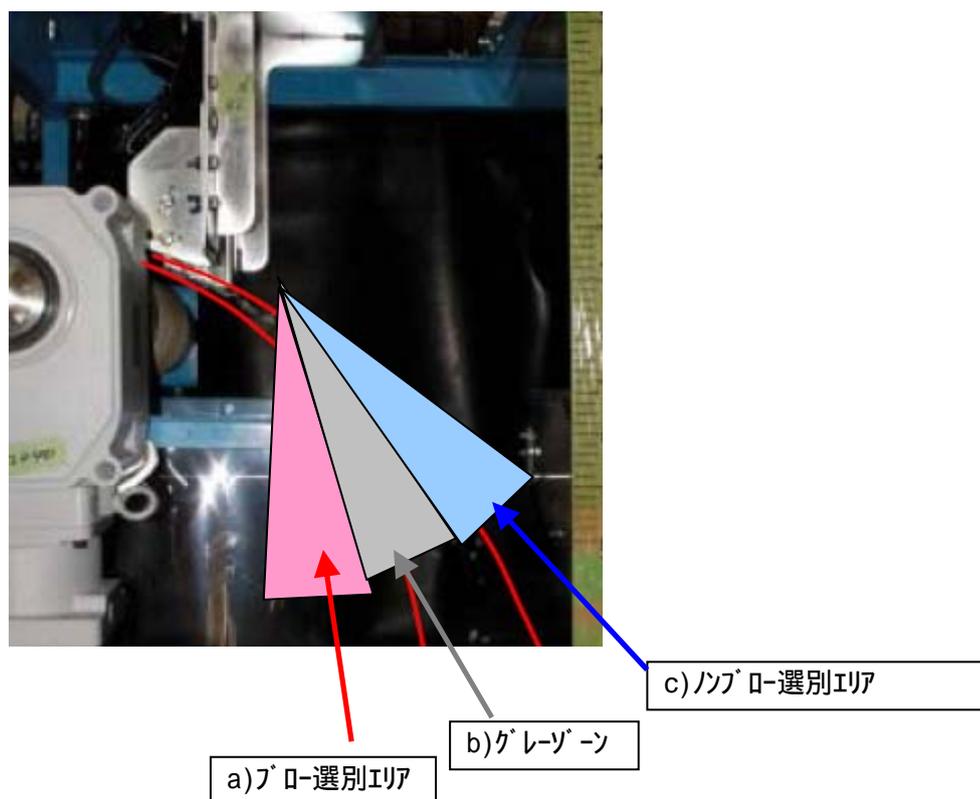


図 3.3.2-8 エアブローによるワーク軌跡のエリア分類

ここで、二分化する仕切板の位置を決定する場合、グレーゾーンの取り込みの考え方により下記観点から設定位置の配慮が必要となる。

- (イ) ブロー選別品側の純度を上げたい場合（他材料の混入を低減させたい場合）
 - グレーゾーンを排除する位置に設定。
 - 上記 a)と b)の間で a)寄りの位置。
 - この場合、ブロー選別品の回収率はさがる。
- (ロ) ブロー選別品側の回収率を上げたい場合（多少他材料が混入してもブロー対象ワークを多く回収したい）
 - グレーゾーンをブロー選別側に取り込んだ位置に設定。
 - 上記 b)と c)の間で c)が取り込まれない位置。
- (ハ) ノンブロー品側の純度を上げたい場合
 - 上記 b)と c)の間で c)寄りの位置。
 - この場合ノンブロー品の回収率は下がる。
- (ニ) ノンブロー品の回収率を上げたい場合
 - 上記 a)と b)の間で a)が取りこまれない位置。

今回の設定は(イ)を主目的としエアブロー位置に近い下記場所に仕切板を調整した。
 図 3.3.2-9 に示す通りエアブロー位置から流れ方向に 21mm、
 下方向に 57mm、仕切板角度 21 度とした。

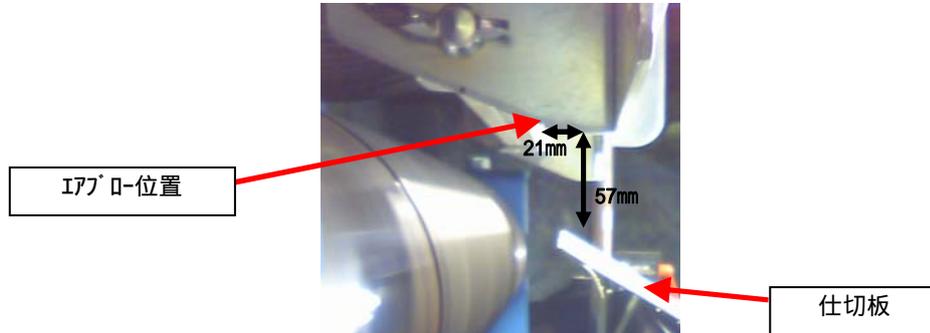


図 3.3.2-9 仕切板設定位置

エアブローでの安定ブロー量確保

本エアブローシステムにおいて、図 3.3.2-10 に示すように 50 台のエアブローノズルからエアブローを行う際の安定な吹き出し状態を確保するための対策としてエアブロー用電磁弁からノズル開放端までのエアの流れ状態を常に臨界流れ状態（チョークフロー）とするよう配慮している。

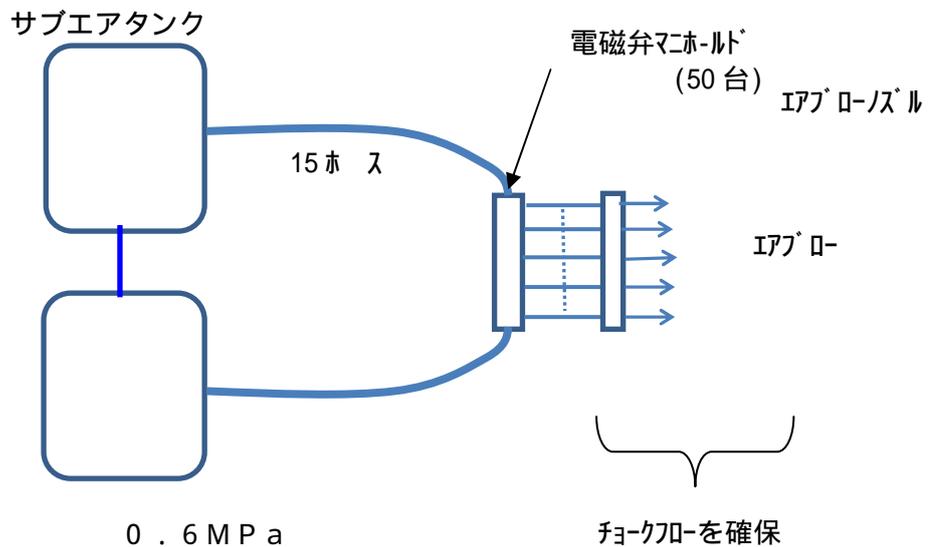


図 3.3.2-10 エアブローシステム構成

電磁弁動作制御

エアブロー電磁弁は、図 3.3.2-11 に示すようにラマンセンサーコントローラ側からの OK - NG 信号を制御盤 PLC に取り込み高速コンベア速度、ラマンセンサーからエアブローポイントまでの距離（図 3.3.2-12 参照）、ラマンセンサー側からの判定計算時間遅れ等を考慮し、エアブローのタイミングを各センサー50 台毎に設定している。

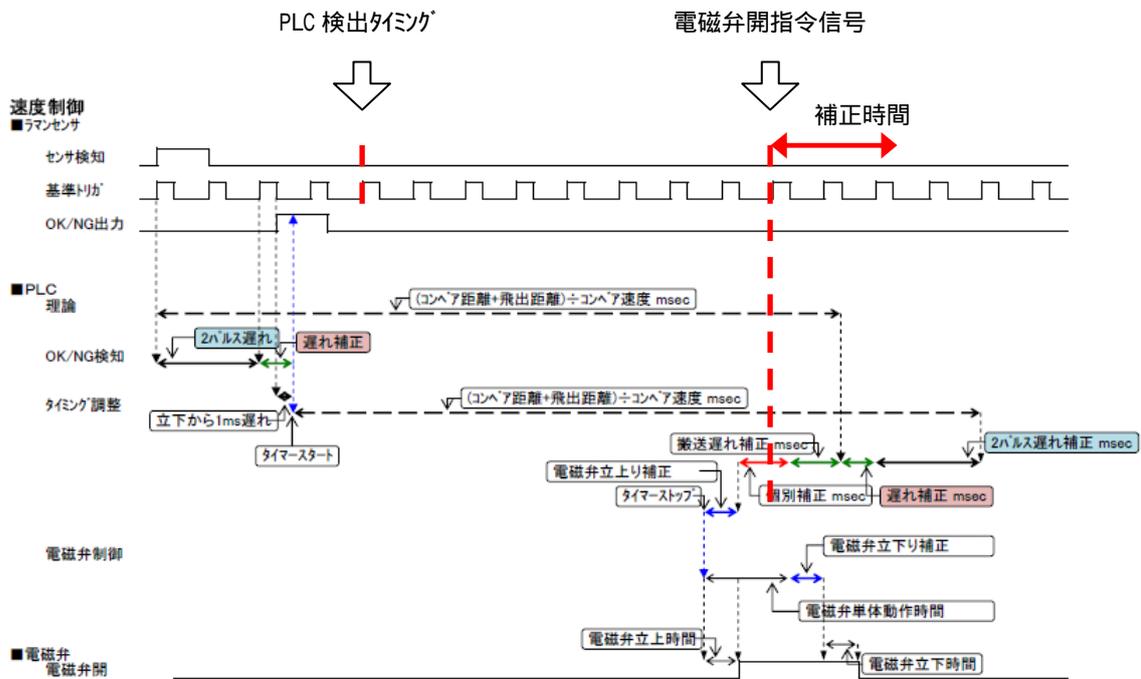
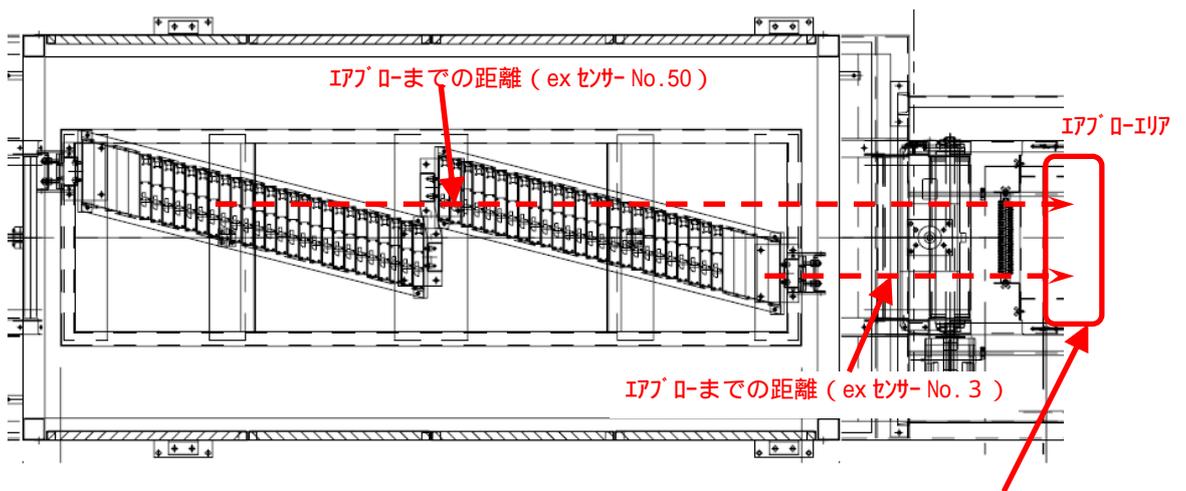


図 3.3.2-11 ラマンセンサ検知信号と電磁弁開信号の連携説明



処理を補正してエアブローエリアにてブロー選別

図 3.3.2-12 ラマンセンサ部とエアノズルの位置関係

3.3.2-2 ラマンソーター実証試験

a. ASR の選別 (以下、PP1;水比重浮き回収プラ、PP2 ; 重液比重浮き回収プラ)

関西事業所に設置しているラマンソーターは 50 台のラマン分光器を搭載している。複数台のラマン識別機を同時に運用すると微妙な部品の違いなどにより個体差が生まれる。一般的な製品ではこの個体差は無視できるほど小さいが、高感度測定用の装置となると個体差が顕著に表れる。

そのため、設定を行う際は一般化した定義を作りその条件で装置を設定することで各センサーが同じように動作するように設定する。具体的には、ベルトコンベアを回しながらセンサー毎に何も無い状態を一定時間測定し、それを基準に設定値を指定する。

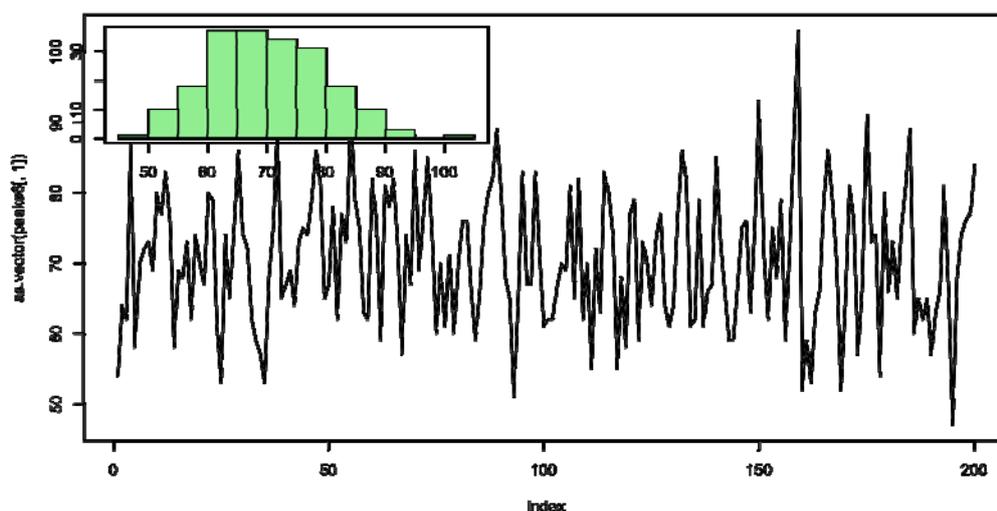


図 3.3.2-13 プラスチックを流していない状態のピーク高さの推移と分布。

図 3.3.2-13 で大きなグラフは横軸時間、縦軸はラマンスペクトルのピーク高さを示すものであり、プラスチックの流れていない状態のピーク高さの変化をプロットしている。左上はそのデータをヒストグラムでプロットしたものである。このグラフはピーク高さを 200 回測定した結果であり、時系列のグラフおよびヒストグラムから、バックグラウンドはホワイトノイズである事が分かる。

バックグラウンドがホワイトノイズであり正規分布に従うとするならプラスチックのある状態との境界線は確率統計にて算出することが可能になる。つまり、平均から ± 1 の範囲にノイズの 68.3%があつまり、 ± 3 の範囲にノイズの 99.7%があつまる。 ± 4 では 99.999%がその範囲に入るためこの値を何も無い状態を超えることはほとんどないと考えることができる。また、これまでの経験からの設定値を 4 に設定する事で誤認識をする事がなく分かっていたので、まずはこの値を境界の値とすることにした。

つぎに、タルクの含有量は今回観測点とした箇所の強度に比例することが分かっているので、その信号強度を一般化する方法として SN 比に置き換え設定値を算出することとした。具体的には、表 3.3.2-1 に示すように SN 比の N の成分を 4 とすることで希望する SN 比から各センサーのしきい値が算出可能となる。

例えば PP1 において PP 群と PE を分ける場合 150 という設定値で出来そうだと言うことを示した。この値は特定のラマンセンサーに対する設定値であり、個々のセンサーに対する設定値は異なってくる。ノイズは標準偏差の 4 倍であると定義されたため、SN 比が 1 となるような信号強度の設定値は平均 + 標準偏差 $\times 4$ で求められる。例えば、PP1 の例では平均が 50 で分散 $\times 4$ が 50 としたら、100 がノイズとプラスチックのしきい値で分散 $\times 8$ が 150 となり PP 群と PE の境界となる。このように標準偏差 $\times 64$ までを今回の実証事業で用いる設定値とした。

表 3.3.2-1 今回の実験で用いた設定値とその設定理由

設定値	
標準偏差 $\times 4$	何も無い状態と信号の境界線
標準偏差 $\times 8$	PP1 の PP 群と PE に分ける基準点
標準偏差 $\times 16$	PP1 と PP2 の基準点
標準偏差 $\times 32$	PP2 の PP+TALC(~30%)と PP+TALC(30%~) の基準点
標準偏差 $\times 64$	PP2 とそれ以外の基準点

b. 原料

今回のテストでは b 施設 100 の PP1 と b 施設 35 の PP2 を用いることとした。原料の組成分布は下記の図 3.3.2-14 及び図 3.3.2-15 に示す。

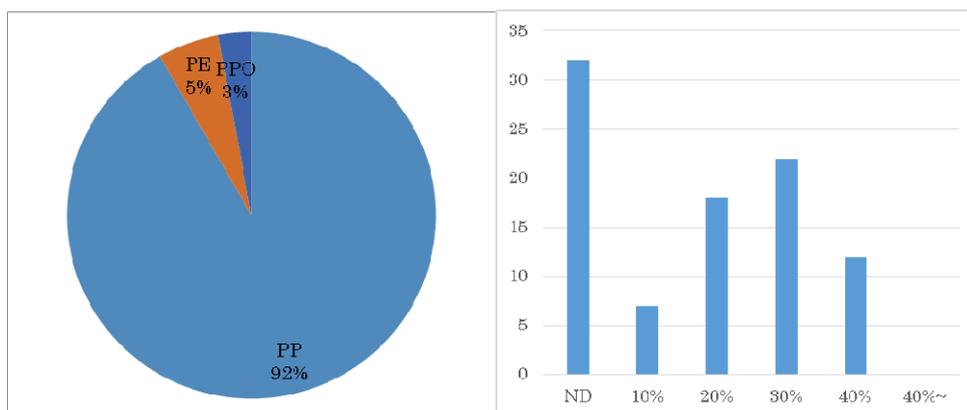


図 3.3.2-14 b 施設 100 PP1 の組成分布と PP 中のタルク含有量の分布

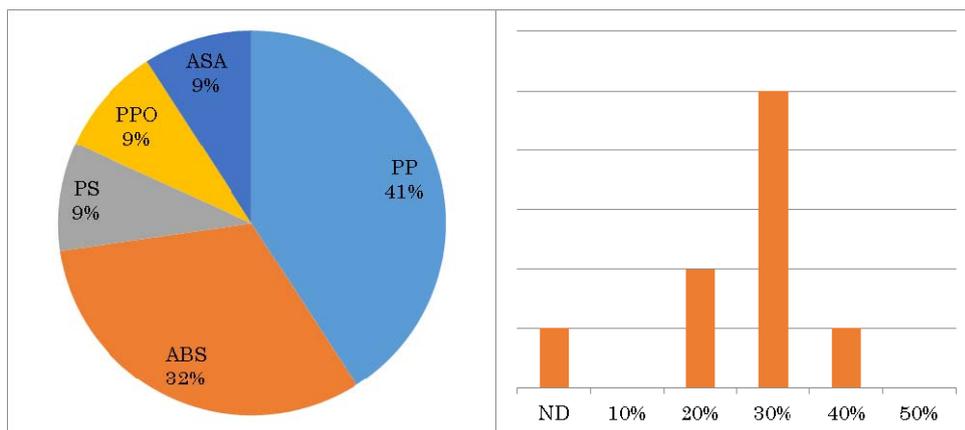


図 3.3.2-15 b施設 35 PP2 の組成分布と PP 中のタルク含有量の分布

c. 選別試験と結果

本テストではテスト対象の原料を約 1Kg 投入。100m/min で稼働中のベルトコンベアに 100~200Kg/H 程度で供給しその分別結果を測定した。図 3.3.2-16 は分別結果の一例を示すものである。

今回の実証事業では、PP1 でのテスト結果から 20%以上タルク含有 PP を含有量によって分別できる事が分かった。また、PP2 のテスト結果からタルク含有 PP の濃縮および PP と ABS の分離が可能であった。



図 3.3.2-16 選別結果の写真 b施設 100 PP1 を SDx8 で選別した結果

(ア) b施設 100 PP1 を SDx4 の設定で選別

b施設 100 の PP1 を SDx4 の設定で選別した処理結果から打落側と通過側からそれぞれ 10 個ずつ取り出し FTIR で材質を EDX で PP のタルクの含有量を測定した結果を図 3.3.2-17 に示す。

打落側のタルク含有量分布から 20%以上のタルク含有 PP を本装置で選別できることがわかった。また、設定値の増加に伴いタルク含有量の分布が含有率の大きいプラスチックにシフトしていることが確認できる。

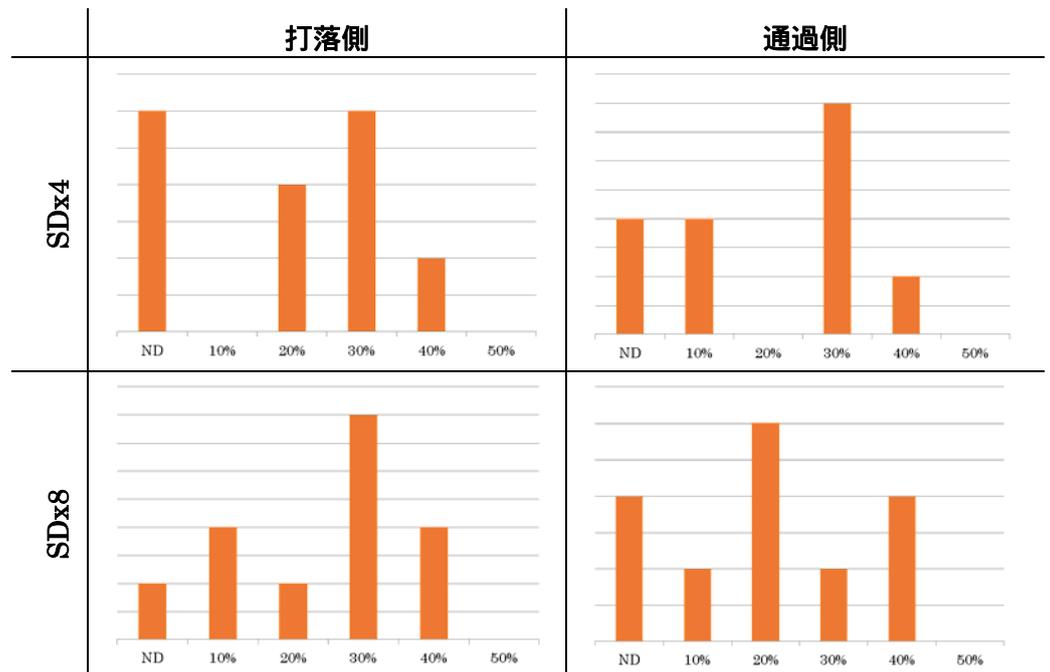


図 3.3.2-17 SDx4 と SDx8 の設定で処理したときのタルク含有量の分布

(イ) b施設 35(沈) PP2 を SDx16~64 で選別

b施設 35(沈)のPP2をSDx16~64の設定で選別した処理結果を打落側と通過側からそれぞれ10個ずつ取り出しFTIRで材質をEDXでPPのタルクの含有量を測定した。その結果を図3.3.2-18と図3.3.2-19に示す。

素材の分布で異樹脂の除去およびタルク含有PPの濃縮効果が見られた。また、打落側のタルク含有量分布においてはPP1のテスト結果同様に設定値の増加に伴いタルク含有量の分布が上昇していることが確認できた。

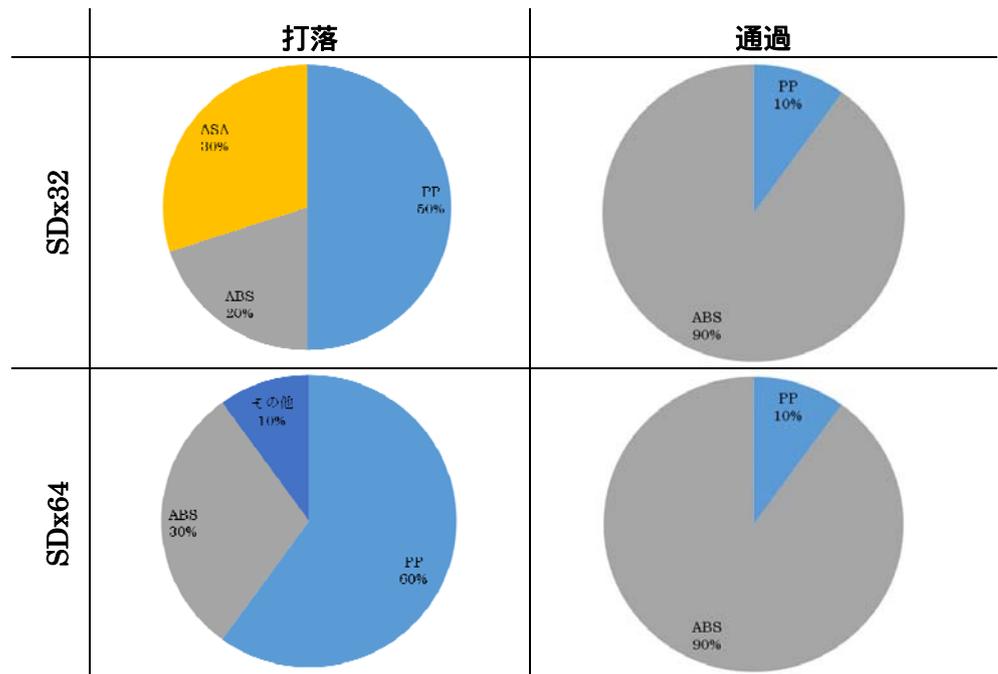


図 3.3.2-18 b施設 35(沈)をSDx16~64の設定で選別した結果の素材分布

設定値があがるに従い打落側でのPP含有量に増加が見られ、通過側にはABSの増加が見られることからABSの除去およびPPの濃縮効果が確認できた。

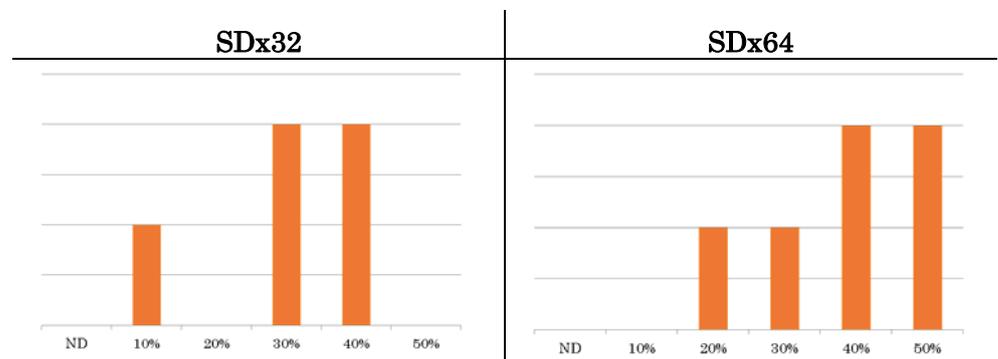


図 3.3.2-19 打落側のタルク含有量の分布

3.3.2-3 ラマンソーターまとめ

ASR 由来プラスチックを水比重選別・重液比重選別して、

水比重浮き、
重液比重浮き、
重液比重沈降

の各々に回収されたプラスチックの種別判定、及び回収量の主体を占める PP については、添加剤タルク含量の分析を行った結果をまとめて、図 3.3.2-20 に示す。

ここで明らかになったことは、

- ・水比重選別/浮き回収樹脂の 90wt%は PP であり、タルク無し PP が 56%、タルク含量 30%以下 PP が 33%であった。
- ・重液比重選別/浮き回収樹脂の 79wt%は PP であり、タルク含量 20%以上 35%以下 PP が主体であり、67wt%であった。
- ・重液比重選別/沈降回収樹脂の 40wt%は PP であり、タルク含量 30%以上 PP が 85wt%であった。

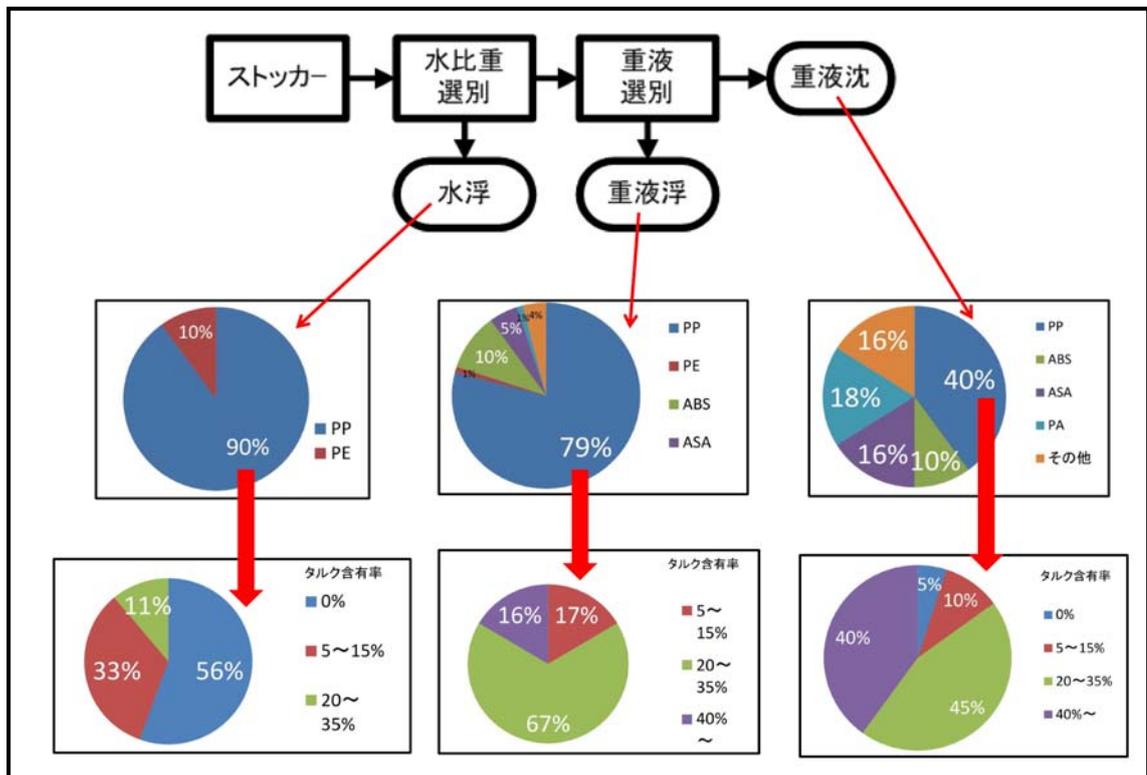


図 3.3.2-20 比重差選別による回収プラスチックの種別分析結果

ASR の黒色プラスチックに関するラマン散乱分光波識別のラボ試験において、対象が黒色であるため、白物廃家電の混合プラスチック識別において検知される分子構造由来のラマンスペクトルは検知されないが、添加剤タルクに起因すると想定される蛍光のスペクトルを検知・分析することでタルク含量の識別可能性の知見が得られた。

プラスチック種別とタルク添加剤含量が既知の黒色プラスチック試験片のラボ試験を行い、レファランス試験片毎にスペクトルの時系列データから、スペクトル強度と頻度分布の関連

データを取得した。

図 3.3.2-21 は、上から

- タルク無し PP、
- タルク 17%含有 PP、
- タルク 17%以上 30%以下含有 PP
- タルク 30%以上含有 PP

の各々に関するスペクトル強度（横軸）と頻度分布（縦軸）を記載したものである。

図 3.3.2-21 から、

- ・スペクトル領域 A では、上記 と が多い領域
- ・スペクトル領域 B では、上記の が多い領域
- ・スペクトル領域 C では、上記の が多い領域

と判定した。

スペクトル領域の境界（閾値）を分別エア吹き出し信号設定とすることによりタルク含量毎の分別を行う事とした。

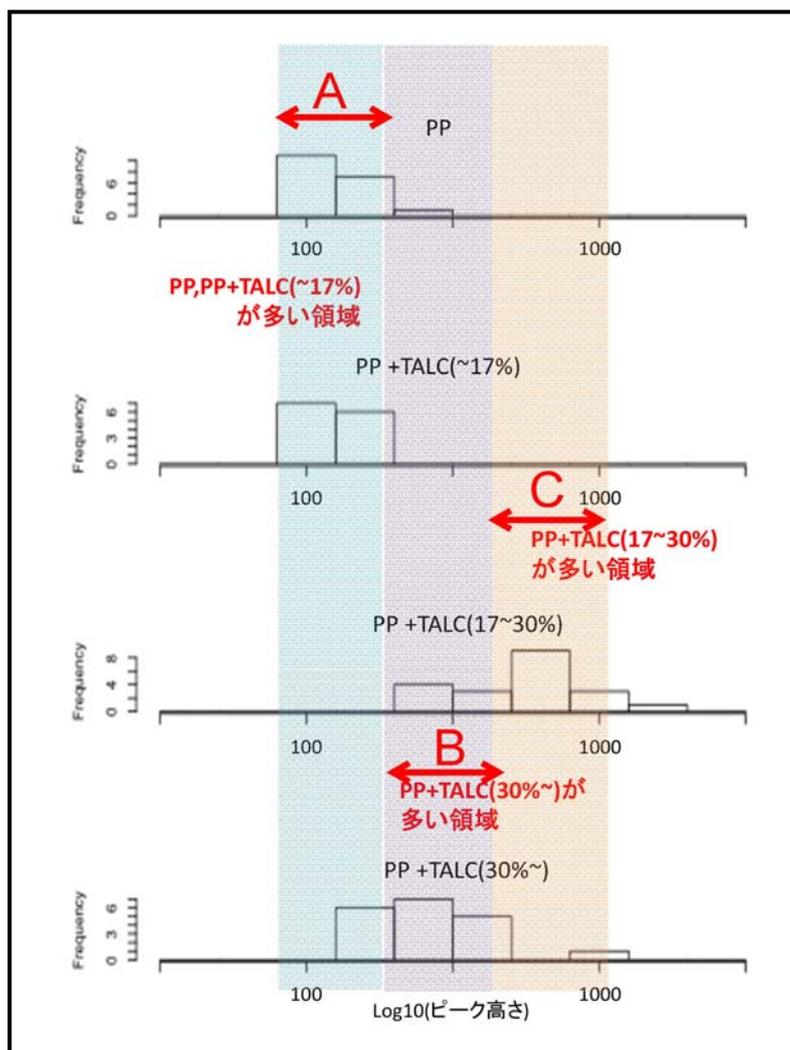


図 3.3.2-21 ラマンスペクトル強度の頻度分布と選別閾値

ラマンソーター選別前のタルク含量比率が、タルクなし PP：35wt%、タルク 10%含有 PP：8wt%、タルク 20%含有 PP：20wt%、タルク含有 30%PP：24wt%、タルク含有 40%以上 PP：13wt%の構成であるプラスチックを図 3.3.2-21 の A 領域回収目的の閾値で分別した。

打ち落とし側に、タルクなし PP~タルク 20%含有以下 PP までの回収を期待する分別であったが、結果は図 3.3.2-22 に示す通りとなった。通過側のタルクなし PP 量が相対的に減少している事は認められるが、打ち落とし側の純度の観点では更に改善が必要な結果となった。

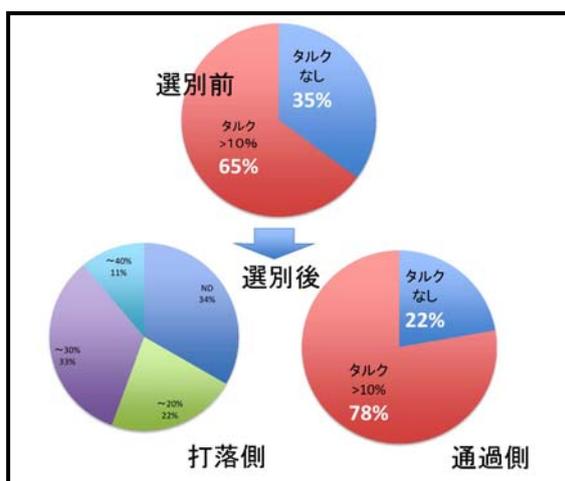


図 3.3.2-22 タルク含量毎の分別に関するソーティング試験結果

別の選別対象物として、PP：41wt%、ABS：32wt%、PS：9wt%、PPO：9wt%、ASA：9wt%の構成であるプラスチックにおいて、PP 回収目的の閾値で分別した。

図 3.3.2-23 に結果を示す。打落し側に PP の相対的は増量が認められ、通過側は ABS の相対的な濃度凝縮が認められた。

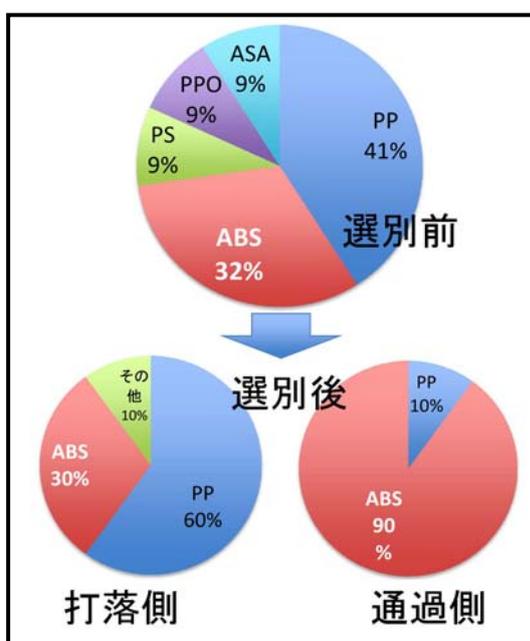


図 3.3.2-23 混合プラスチック種別の分別に関するソーティング試験結果

3.4 回収プラスチックのリサイクル可能性検討

本章では、まず「3.4.1」において回収プラスチックを原料としたペレット製造とプラスチックに関する物性試験について述べ、「3.4.2」において回収されたプラスチック中の残留夾雑物の押し出し機スクリーンでの析出状況を述べる。

3.4.1 回収プラスチックの物性試験

水比重選別処理（第 3.3.1 節参照）の水浮き成分として回収された下記 2 つのプラスチックについて、一軸のプラスチック押し出し機によりリペレットを行った。

b 施設 100mm オバ`-破砕片から手選別回収したプラスチック

a 施設由来のプラスチックリッチ A S R

上記の 2 種類について、再資源化施設から受入時の夾雑物含有割合と水比重選別処理に伴う夾雑物除去の効果を確認するために、処理後の夾雑物含有割合を比較した。

表 3.4.1-1 に比較結果を示す。

表 3.4.1-1 水比重選別処理に伴う夾雑物除去効果

		含有比率(w/w)					
		プラスチック	ゴム	木片	ウレタン	シート	
b 施設	比重選前	—	—	—	—	—	
	比重選後	100.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	
a 施設	比重選前*	80.8%	16.3%	1.6%	0.2%	0.3%	
	1回処理	92.6%	7.1%	0.0%	0.3%	0.0%	
	2 回 処 理	No1	89.5%	10.0%	0.0%	0.5%	0.0%
		No2	91.1%	8.8%	0.0%	0.2%	0.0%
		No3	91.2%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%

*) a 施設比重選別前は、金属類0.7%含有を含めて全体100%

1 軸押し出し機のスクリーンメッシュは、メッシュ # 50 (125.8mm 、線径 0.23) を 3 枚重ねで使用した。

試験状況を図 3.4.1-1 ~ 図 3.4.1-4 に示す。

上記の 及び のプラスチック片を直接 1 軸押し出し機に投入して、ペレタイザーにプラスチックストランドを引く形で処理した。



図 3.4.1-1 リペレット試験状況 No1



図 3.4.1-2 リペレット試験状況 No2



図 3.4.1-3 リペレット試験状況 No3



図 3.4.1-4 リペレット試験状況 No4

1 軸押し出し機によるリペレット生産において、生産性の評価は、30 分間安定的に図 3.4.1-3 のストランドが引けることであるが、上記 と の対象とした原料の内、のみが可能であった。

は、ゴム夾雑物含有量 10%が阻害となって、ストランドを引くことが不可能であった。

の生産されたペレットを図 3.4.1-5 に示す。



図 3.4.1-5 製造されたペレット

製造したリサイクルプラスチックペレット(b施設 100mm オバ`-破砕片から手選別回収したプラスチック)により、材料試験片を製造して材料特性試験を行った。図 3.4.1-6 は、製造した材料試験片の構造を示す。



図 3.4.1-6 材料物性試験片

材料試験により得られた材料物性データを表 3.4.1-2 に示す。また、比較データとして、ダイセルポリマー株式会社のHPに掲載されている【PT2N1】の一般物性データ（バージン材料）を表 3.4.1-3 に示す。両者の比較において、次のことが明らかである。

- ・リサイクル材の比重が 0.98 となっており、このリサイクル材はタルク含量が 10% 程度と推定される。
- ・リサイクル材はバージン材に比べて、曲げ強度：30%減、曲げ弾性率：20%減、引張強度：21%減の特性を示した。コンパウンド業者の評価では、一般的な高剛性材料としての使用が可能との評価であった。

表 3.4.1-2 材料物性試験成績書

物 性 試 験 成 績 書			
品名	PP-KM		
Lot.No	-		
試験項目	単位	測定方法	測定値
MI (230℃ 2160g)	g/10min	JISK7210	15.7
比重	g/cm ³	JISK7112	0.980
灰分	%	-	11.9
IZD衝撃強度	KJ/m ²	JISK7110	34.8
曲げ強度	MPa	JISK7171	26.7
曲げ弾性率	MPa	JISK7171	1527.9
引張り強度	MPa	JISK7113	19.7
引張り伸び率	%	JISK7113	44.1
HDT熱変形温度	℃	JISK7191-1,2	90.4

表 3.4.1-3 参考資料（ダイセルポリマー(株)）

一 般 物 性				
PT2N1				
タルク強化PPコンパウンド樹脂(タルク10%、UL94 HB)				
特性	測定方法	測定条件	単位	
メルトマスフローレイト	ISO 1133	230℃/2.16kg	g/10min	12
成形収縮率	ASTM D955	-	%	1.2-1.5
引張強さ	ISO 527	-	MPa	25
曲げ強さ	ISO 178	-	MPa	38
曲げ弾性率	ISO 178	-	MPa	1900
ノッチ付きシャルピ-衝撃強さ	ISO 179/1eA	23℃	kJ/m ²	8
ロックウェル硬さ	ISO 2039	-	-	R87
荷重たわみ温度	ISO 75	0.45MPa	℃	110
燃焼性	UL94	-	-	HB (BK)
密度	ISO 1183	-	g/cm ³	0.97

注
 ・これらの数値は代表値であって、品質保証値ではありません。
 ・ダイセルポリマーのUL認定ファイルNo. は、E47773です。

出典; <http://www.daicelpolymer.com>

3.4.2 回収プラスチックの残留夾雑物分析

b 施設 A S R 由来の回収プラスチックを用いて、再生ペレットを製造した。

再生ペレット原料の由来、1 軸押し機のスクリーン条件、ペレット化でのスクリーン夾雑物の状況は次の通りであった。

1) 35mm ~ 100mm 水浮き A S R 由来の回収プラスチック (後述表記 ; A サンプル)

- ・手選別等で夾雑物除去を行い、残存夾雑物含量が 1wt% 以下の回収プラスチック
- ・1 軸押し機投入前の水洗浄無しでリペレット製造を実施。

- ・1 軸押し機からのストランドが 1 メートルも伸びず、ペレット化は不可能であった。切れたストランドをペレタイザーに入れて、無理やりにペレット化を行った。

- ・1 軸押し機のスクリーンは、# 50 メッシュを 1 枚重ね。
- ・# 50 メッシュの夾雑物詰まり状況を図 3.4.2-1 に示す。
- ・メッシュには、アルミ、小さな木くず、細かいウレタン、及び塗装などの付着があった。



図 3.4.2-1 #50 メッシュ (1)

2) 35mm ~ 100mm 水浮き A S R 由来の回収プラスチック (後述表記 ; B サンプル)

- ・上記 1) を水で 3 回洗浄する前処理を実施。
- ・ストランドが 2 メートル程度伸びるようになったものの、ストランド切れは多発した。
- ・切れたストランドで無理やりペレット化を実施。
- ・# 50 メッシュ 1 枚重ねを使用し、目詰まり状況を図 3.4.2-2 に示す。目詰まりの夾雑物は、アルミ、木くず、ウレタン等であった。



図 3.4.2-2 #50 メッシュ (2)

3) 100mm 手選別 A S R 由来の回収プラスチック (後述表記 ; C サンプル)

- ・ 100mm 手選別由来の夾雑物無し A S R からの回収プラスチック使用
- ・ 水による 3 回洗浄実施。
- ・ 1 軸押し出し機のスクリーンは、 #50 メッシュ 1 枚と #80 メッシュ 2 枚の 3 枚重ね条件で使用。
- ・ ある程度のストランド切れを抑えることが出来た。
- ・ 図 3.4.2-3 に #50 メッシュの状況を示し、図 3.4.2-4 に #80 メッシュの状況を示す。



図 3.4.2-3 #50 メッシュ (3)

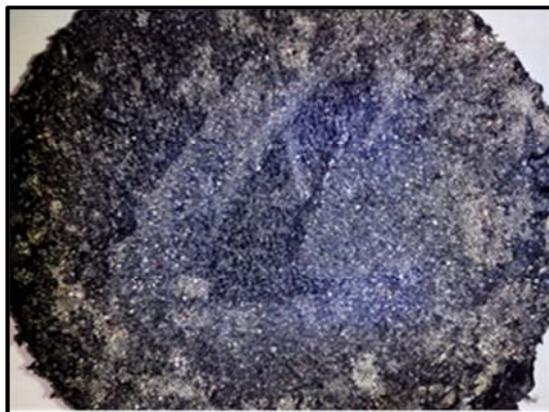


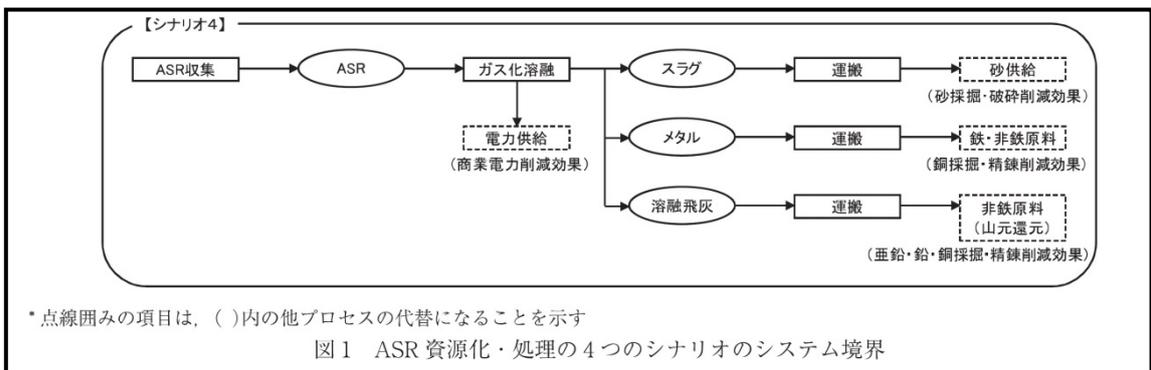
図 3.4.2-4 #80 メッシュ (1)

3.5 ASRの材料リサイクルに伴う二酸化炭素排出量抑制評価

本章では、「3.5.1」において二酸化炭素排出量評価をおこなう評価モデルの設定について述べ、「3.5.2」において評価結果について述べる。

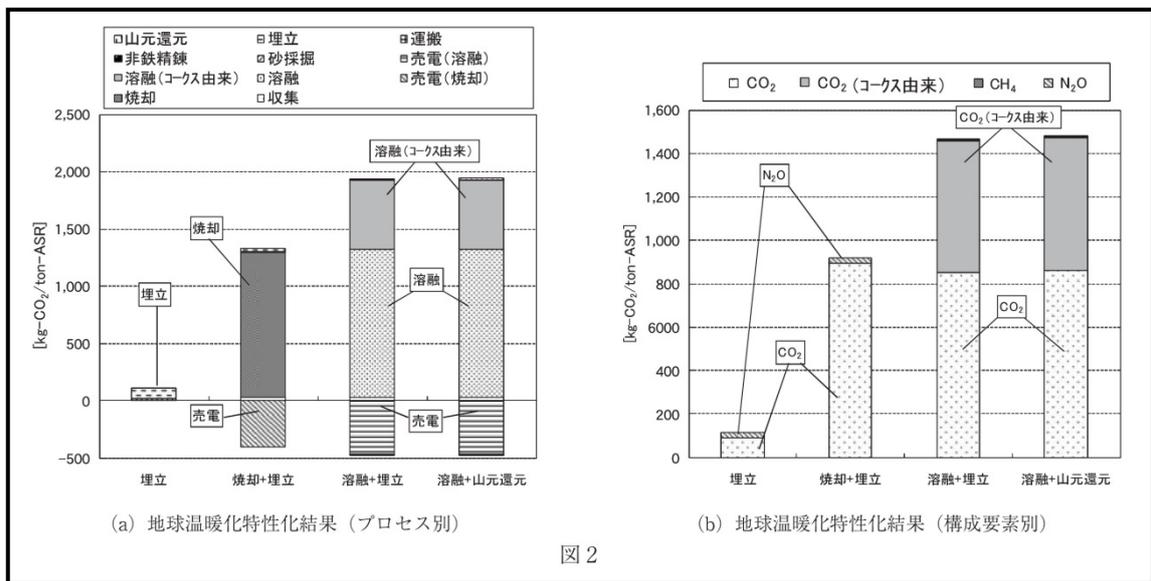
3.5.1 評価モデル

ASRのLCA（ライフサイクルアセスメント）評価については、既往研究として酒井氏らによる評価（自動車破砕残渣（ASR）の資源化・処理に関するライフサイクルアセスメント：廃棄物資源循環学会論文集，Vol.23，No.6，pp.264-278，2012）が報告されており、図3.5.1-1に示すシナリオのもとにCO₂排出量が図3.5.1-2のように示されている。



出典；廃棄物資源循環学会論文集，Vol.23，No.6，pp.264-278，2012

図3.5.1-1 既往研究からの引用1



出典；廃棄物資源循環学会論文集，Vol.23，No.6，pp.264-278，2012

図3.5.1-2 既往研究からの引用2

本事業では、国内 5 ヶ所の再資源化施設の A S R を採取・分析を行い、A S R 組成について、5 ヶ所の単純平均として表 3.5.1-1 に示す結果を得た。

表 3.5.1-1 本事業調査の A S R 組成 (5 ヶ所施設平均値)

施設平均	分類	wt(%)	ゴム	ウレタン	発泡 スチロール	繊維類	紙類	木類	プラスチック	
									シート状	硬質
施設平均	分類	wt(%)	7.9	9.6	0.4	17.1	1.7	0.8	5.6	32.2

施設平均	分類	wt(%)	金属類		ガラス類	土砂類	電線類	基板等	分類 不能物	ダスト等
			鉄	非鉄						
施設平均	分類	wt(%)	1.3	1.1	0.4	0.2	2.0	0.1	0.1	19.5

本事業での検討は、再資源化施設の選別工程（一例として図 3.5.1-3 に示す）を経て、プラスチック含有比率を高めた A S R を有価物として再生プラ分別・回収施設に供給し、プラスチック材料のマテリアルリサイクル化を図る事を目的としている。

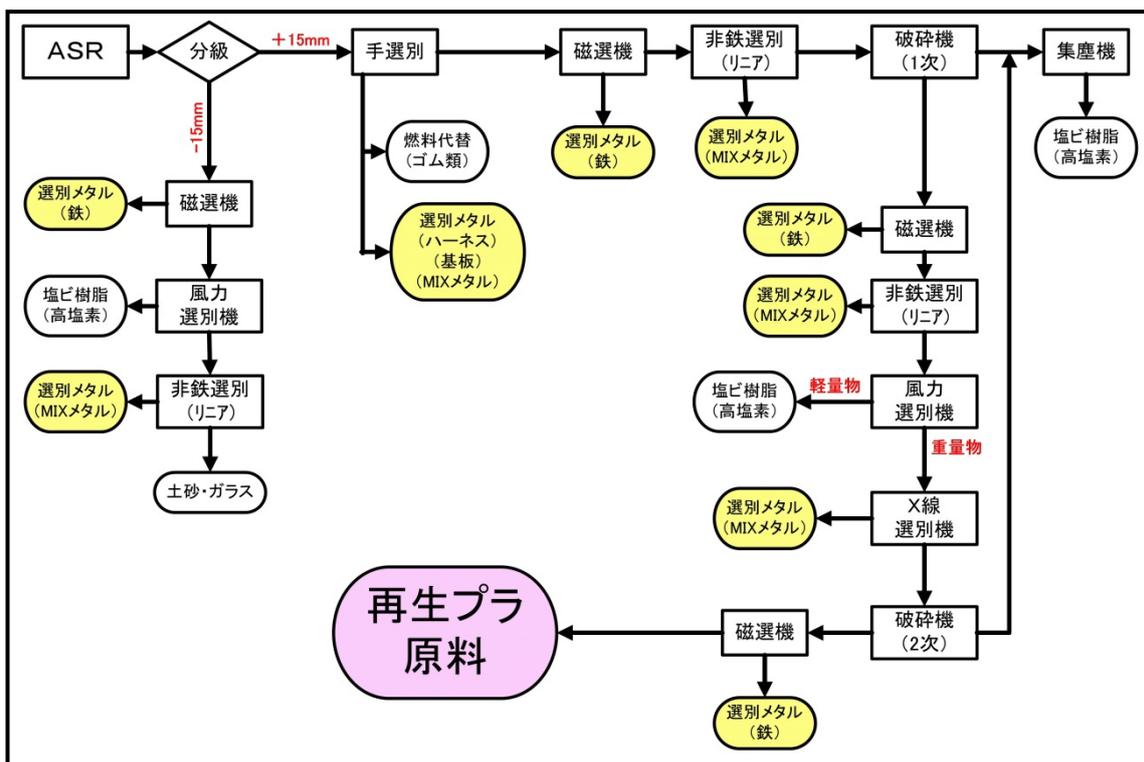


図 3.5.1-3 再資源化施設の選別工程例

再資源化施設での選別処理を前提すると、A S R 処理に関する C O 2 排出量評価のシナリオは図 3.5.1-4 に示すものとなる。すなわち、処理工程の使用電力量などへの投入エネルギー源に起因する C O 2 排出、及び代替燃料として供給するガス化溶融施設やセメント製造施設での燃焼にともなう C O 2 排出に対して、金属回収による新材料製造に対する代替効果が C O 2 排出抑制となる。

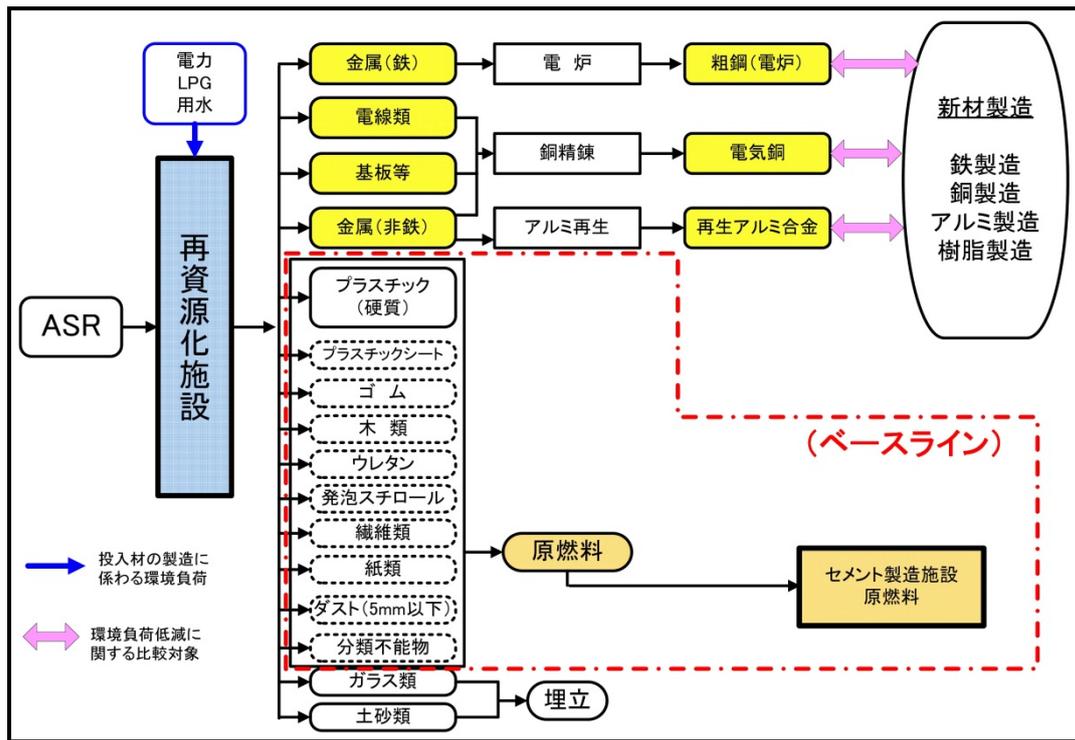


図 3.5.1-4 再資源化施設の選別処理に関する評価シナリオ

再資源化施設で回収される再生プラ原料がある一定のプラスチック含有量以上であれば、再生プラ分別・回収施設での有償買取が可能となり、再生プラ分別・回収施設では、図 3.5.1-5 に示すような処理工程により、プラスチック含有比率を更に高める。

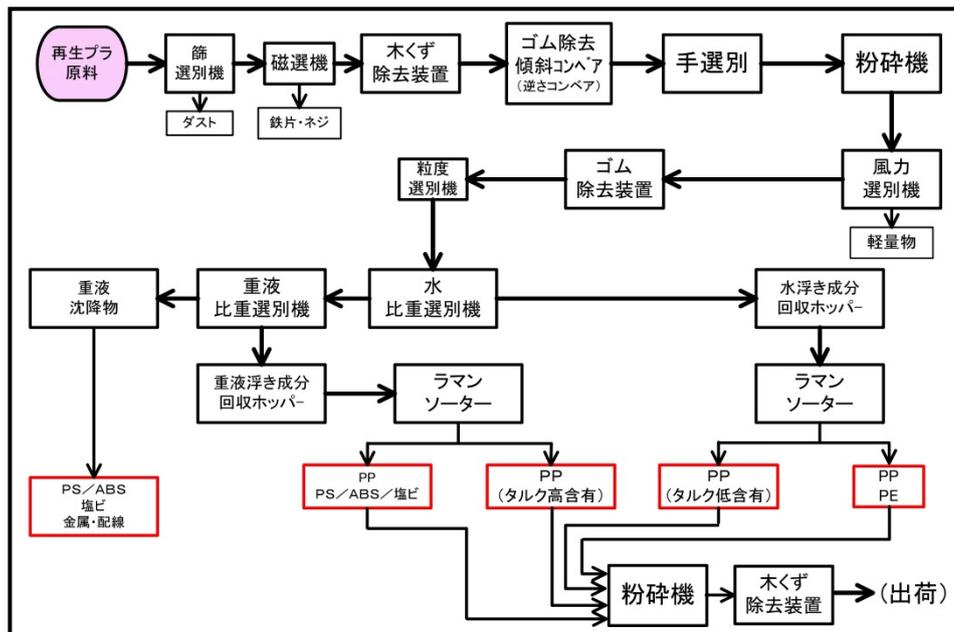


図 3.5.1-5 再生プラ分別・回収施設の選別処理工程例

再生プラ分別・回収施設でのプラスチック純度を高める（夾雑物除去）処理を経て、コンパウンド事業者でのリペレット化が可能となり、再生プラスチック原料が化石原料由来の新材料製造原料に対する代替となり、CO₂ 排出削減効果をもたらす。

ASR由来のプラスチック回収によるCO₂ 排出削減に関する評価範囲は、図3.5.1-4 に示したベースラインに対して、図3.5.1-6 に示す評価範囲とした。

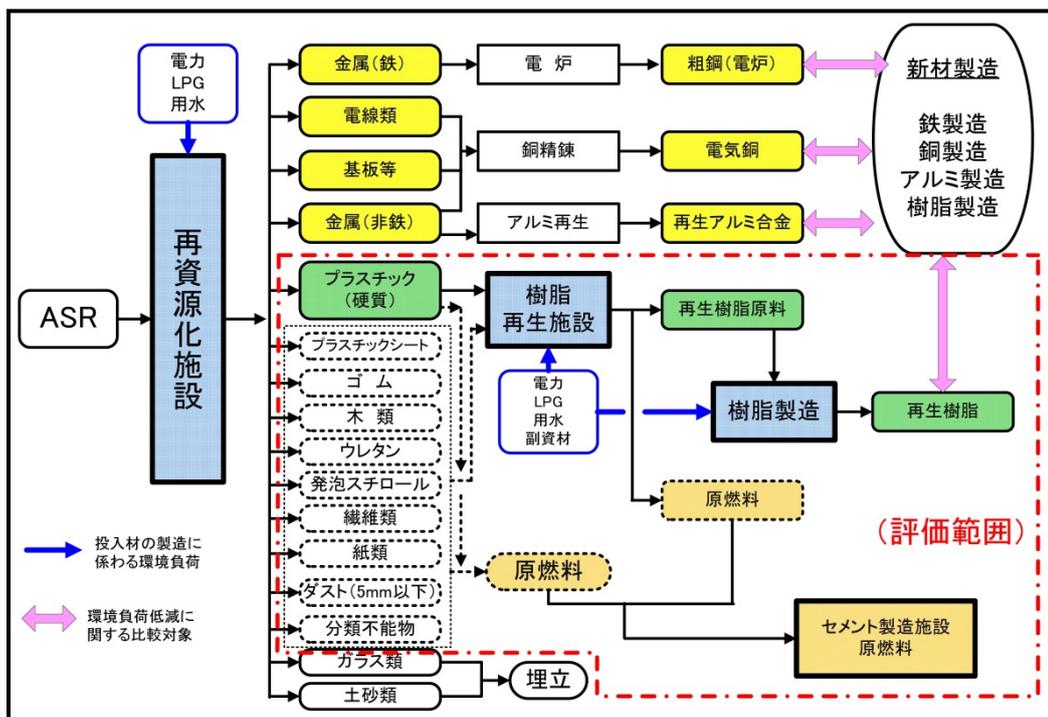


図 3.5.1-6 プラスチック材料リサイクルに関する評価対象範囲

3.5.2 評価

1) 材料マテリアル化が可能なASR由来プラスチックの回収量

ASRに含有されているプラスチック量(表3.5.1-1参照)は、ASR全体に対しては32.2%であるが、図3.5.1-4のベースラインに示した範囲(金属類、ガラス類、土砂類、電線類を除く代替燃料範囲)を対象とすると、含有比率は33.9%となる。

代替燃料範囲1トンを機能単位として、材料マテリアル化が可能なプラスチックの回収量の見積を、今回の実証事業の成果から図3.5.1-7に示す。

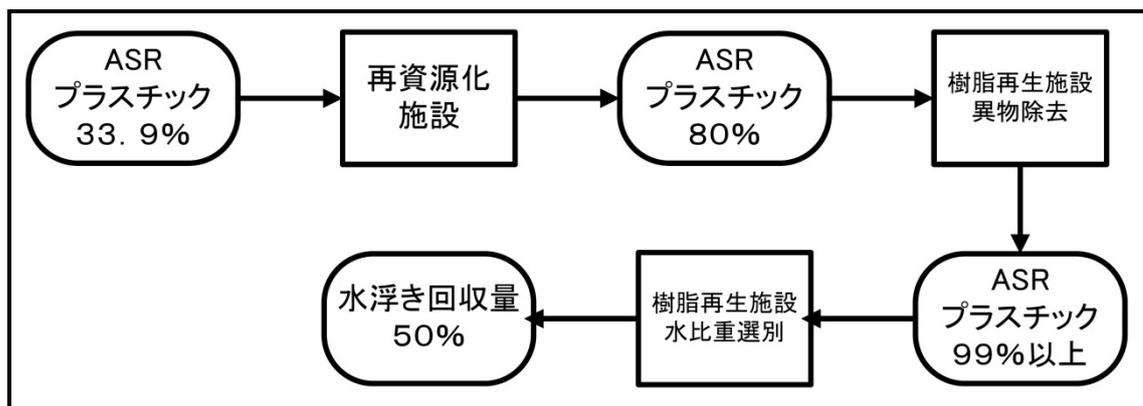


図 3.5.1-7 材料リサイクル化が可能なプラスチック回収量

機械処理・選別により破碎粒度小で再資源化施設から供給されるASRのプラスチック含有比率は概ね80%であった。(表3.1.3-1及び図3.1.3-30参照)

再生プラ分別・回収施設での夾雑物除去作業により、残留夾雑物比率は1%以下に抑えることが可能であり、また、再資源化施設で破碎粒度大のプラスチックを手選別回収する場合は、夾雑物不含有での供給が可能であった。(図3.1.3-1及び図3.1.3-9参照)

プラスチックリッチなASRを水比重選別した場合、水浮きとして回収可能な量は、投入量の約50%であった。(表3.1.3-2参照)

回収プラスチックに関する材料物性試験では、プラスチック純度が99%以上で水比重1.0以下の回収物において、一軸押し出し機によるストランドが安定的に引くことができ、再生プラスチックとして利用可能な材料特性が得られた。(表3.4.1-2参照)

水比重選別を行った3ヶ所の再資源化施設からの受入ASRのうち、夾雑物除去によりプラスチック純度99%以上の対象物のみが材料マテリアルの可能性が得られた。機能単位のASR1トン中には、約340kg(33.9wt%)のプラスチックが存在し、約50wt%が水浮きとして回収可能であり、この回収分についてのみ、安定的なストランドを引く事が可能であったので、マテリアルリサイクルが可能な回収プラスチック量を約170kgと想定した。

2) プラスチック回収選別システムの使用エネルギー量

プラスチック回収選別に関する選別システム(図 3.5.1-5)の各機器の電力負荷を表 3.5.1-2 に示す。処理能力は、混合プラスチックに対して 2 トン/hr である。

表 3.5.1-2 選別システム機器の電力負荷リスト

No.	機器名称	数量	定格容量 [kW]
1	定量切出し機	1基	1.5
2	振動篩機	2基	3.2
3	磁力選別機	1基	3.9
4	木くず・ゴム除去装置	3基	6.0
5	粉碎機	2基	37.0
6	風力選別機	1基	13.6
7	水比重選別機(含脱水機)	1基	35.0
8	重比重選別機(含脱水機)	1基	60.0
9	ラマン識別機	2基	11.8
10	コンプレッサ	一式	37.0
11	集塵機	1基	15.0
12	コンベア搬送系	一式	11.8
13	エア搬送系	一式	39.5
(合計)			275.3

3) コンパウンドに伴うCO₂排出量

全日本プラスチックリサイクル工業会および日本プラスチック有効利用組合の会員企業からは、カーボンフットプリント登録情報として、「産業系廃プラスチックを主要材料としたリサイクル率 100%のポリプロピレンペレット」の製品 1 kg あたり 0.24kg-CO₂e の提示がある。

4) CO₂排出量の評価

再生プラ分別・回収施設及び樹脂製造施設に対する投入材に係わるCO₂の排出量評価を表3.5.1-3に示す。また、回収物の処理・リサイクルに係わるCO₂の排出量評価を表3.5.1-4に示す。

表 3.5.1-3 施設のエネルギー投入に係わるCO₂排出量

投入	樹脂再生事業者 処理施設				樹脂製造事業者 製造施設	合計
	処理能力: 2t/hr	工業用水	水質管理資材		CFP登録データ(*1)	
	電気負荷: 275.3kw	25m ³ /300t	塩鉄	消石灰	リサイクルPP1kg製造当たり	
環境負荷 原単位	497 g・CO ₂ /kwh	72.6 g・CO ₂ /m ³	1.117 g・CO ₂ /g	0.172 g・CO ₂ /g	240 g・CO ₂ /1kg	
ASR1トン当り 排出CO ₂ 量(kg)	(*2) 68.4	(*3) 0.0061	(*4) 0.6981	(*4) 0.0860	41	110.0

(*1)全日本プラスチックリサイクル工業会の会員企業からの提供データ(登録番号: CR-EF01-15002)

(*2)電気負荷に対する環境負荷原単位: 電気事業者ベル排出係数(H26年度実績)を適用して次式による。
 $0.497(\text{kg} \cdot \text{CO}_2/\text{kwh}) \times 275.3(\text{kwh})/2(\text{t}/\text{h}) = 68.4(\text{kg} \cdot \text{CO}_2)$

(*3)工業用水に関する環境負荷原単位: 産業連関分析法によるLCA原単位(95年版)を適用して、次式による。
 $0.0726(\text{kg} \cdot \text{CO}_2/\text{m}^3) \times 25(\text{m}^3)/300(\text{t}) = 0.0061(\text{kg} \cdot \text{CO}_2)$

処理対象ASR300トン毎に水比重選別装置の水全量25m³を交換することを仮定した。
 (*4)水質管理資材に関する環境負荷原単位: 産業連関分析法によるLCA原単位(95年版)を適用して、次式による。
 (塩鉄: ph調整剤) $1.117(\text{g} \cdot \text{CO}_2/\text{g}) \times 625(\text{g}) = 0.6981(\text{kg} \cdot \text{CO}_2)$ (625gは使用実績データによる)
 (消石灰: ph調整剤) $0.172(\text{g} \cdot \text{CO}_2/\text{g}) \times 500(\text{g}) = 0.0860(\text{kg} \cdot \text{CO}_2)$ (500gは使用実績データによる)

表 3.5.1-4 回収物処理に係わるCO₂排出量

	ベースライン	評価範囲		
回収物	セメント製造原燃料(*1)	バージン製造 (代替分)(*2)	原燃料	
ASR1トン当り 回収量(kg)	1,000	170.0	830.0	合計
環境負荷 原単位(g・co ₂ /g)	0.775	-1.483	0.775	
CO ₂ 排出量(kg)	775.00	-252.11	643.25	391.14

(*1)セメント製造原燃料に関わるCO₂排出量は、算定報告公表制度/CO₂排出原単位による。

(*2)製造原単位; 一般社団法人プラスチック循環利用協会: 石油化学製品のLCIデータ調査報告書(2009年3月)による

ベースラインと評価範囲の比較によるCO₂排出量の削減量を図 3.5.1-8 に示す。

図 3.5.1-8 において、ベースラインの排出量は、

セメント製造原燃料に関する排出量：775kg（表 3.5.1-4 参照）

評価範囲の排出量は、

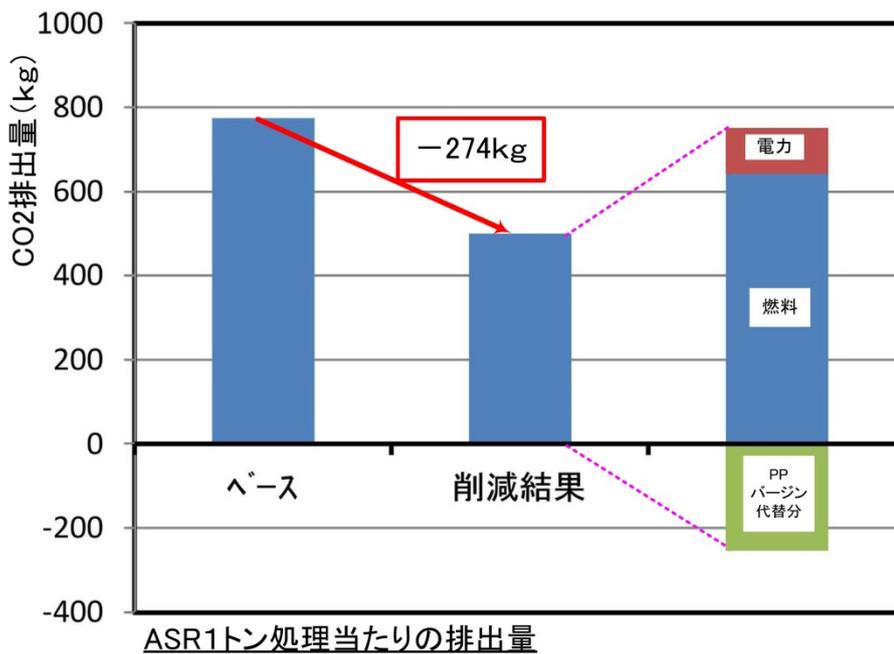
施設のエネルギー投入に係わる排出量：110kg（表 3.5.1-3 参照）

バージン製造代替分：-252.11kg（表 3.5.1-4 参照）

原燃料分（リサイクル材を除く残り）：643.25kg（表 3.5.1-4 参照）

合計（ + + ） = 501.14kg となり、

削減効果：775kg - 501.11kg = 274kg となる。



ASR1トン処理当たりの排出量
図 3.5.1-8 CO₂削減量（ASR樹脂 1/2 回収リサイクル）

参考として、ASR1トンに含まれるプラスチック 340kg 全量がマテリアルリサイクル可能となった場合の評価を行った。

投入材に係わるCO₂の排出量評価は表 3.5.1-5 に示すように 340kg のリサイクルPP材製造に係わる排出量が表 3.5.1-3 の場合に比べて増加になる。

また、回収物の処理・リサイクルに係わるCO₂の排出量評価は表 3.5.1-6 に示すようにバージン材製造(代替分)のマイナス効果が表 3.5.1-4 に較べて拡大する一方、原燃料分はプラスチックがマテリアルリサイクルに転じた分、減少する。

結果としてのCO₂排出量の削減量を図 3.5.1-9 に示す。

表 3.5.1-5 施設のエネルギー投入に係わるCO₂排出量（プラスチック回収 340kg）

投入	樹脂再生事業者 処理施設				樹脂製造事業者 製造施設	合計
	処理能力:2t/hr	工業用水	水質管理資材		CFP登録データ(*1)	
	電気負荷:275.3kw	25m ³ /300t	塩鉄	消石灰	リサイクルPP1kg製造当たり	
環境負荷	497	72.6	1.117	0.172	240	
原単位	g・CO ₂ /kwh	g・CO ₂ /m ³	g・CO ₂ /g	g・CO ₂ /g	g・CO ₂ /1kg	
ASR1トン当り 排出CO ₂ 量(kg)	(*2) 68.4	(*3) 0.0061	(*4) 0.6981	(*4) 0.0860	82	150.8

- (*1)全日本プラスチックリサイクル工業会の会員企業からの提供データ(登録番号:CR-EF01-15002)
 (*2)電気負荷に対する環境負荷原単位:電気事業者ベル排出係数(H26年度実績)を適用して次式による。
 $0.497(\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{kwh}) \times 275.3(\text{kwh})/2(\text{t/h}) = 68.4(\text{kg}\cdot\text{CO}_2)$
 (*3)工業用水に関する環境負荷原単位:産業連関分析法によるLCA原単位(95年版)を適用して、次式による。
 $0.0726(\text{kg}\cdot\text{CO}_2/\text{m}^3) \times 25(\text{m}^3)/300(\text{t}) = 0.0061(\text{kg}\cdot\text{CO}_2)$
 処理対象ASR300トン毎に水比重選別装置の水全量25m³を交換することを仮定した。
 (*4)水質管理資材に関する環境負荷原単位:産業連関分析法によるLCA原単位(95年版)を適用して、次式による。
 (塩鉄:ph調整剤) $1.117(\text{g}\cdot\text{CO}_2/\text{g}) \times 625(\text{g}) = 0.6981(\text{kg}\cdot\text{CO}_2)$ (625gは使用実績データによる)
 (消石灰:ph調整剤) $0.172(\text{g}\cdot\text{CO}_2/\text{g}) \times 500(\text{g}) = 0.0860(\text{kg}\cdot\text{CO}_2)$ (500gは使用実績データによる)

表 3.5.1-6 回収物処理に係わるCO₂排出量（プラスチック回収 340kg）

回収物	ベースライン	評価範囲		
	セメント製造原燃料(*1)	バージン製造 (代替分)(*2)	原燃料	合計
ASR1トン当り 回収量(kg)	1,000	340.0	660.0	
環境負荷 原単位(g・co ₂ /g)	0.775	-1.483	0.775	
CO ₂ 排出量(kg)	775.00	-504.22	511.50	7.28

- (*1)セメント製造原燃料に関わるCO₂排出量は、算定報告公表制度/CO₂排出原単位による。
 (*2)製造原単位:一般社団法人プラスチック循環利用協会:石油化学製品のLCIデータ調査報告書
 (2009年3月)による

図 3.5.1-9 において、ベースラインの排出量は、図 3.5.1-8 と同じであり、
 評価範囲の排出量は、

施設のエネルギー投入に係わる排出量：150.8kg（表 3.5.1-5 参照）

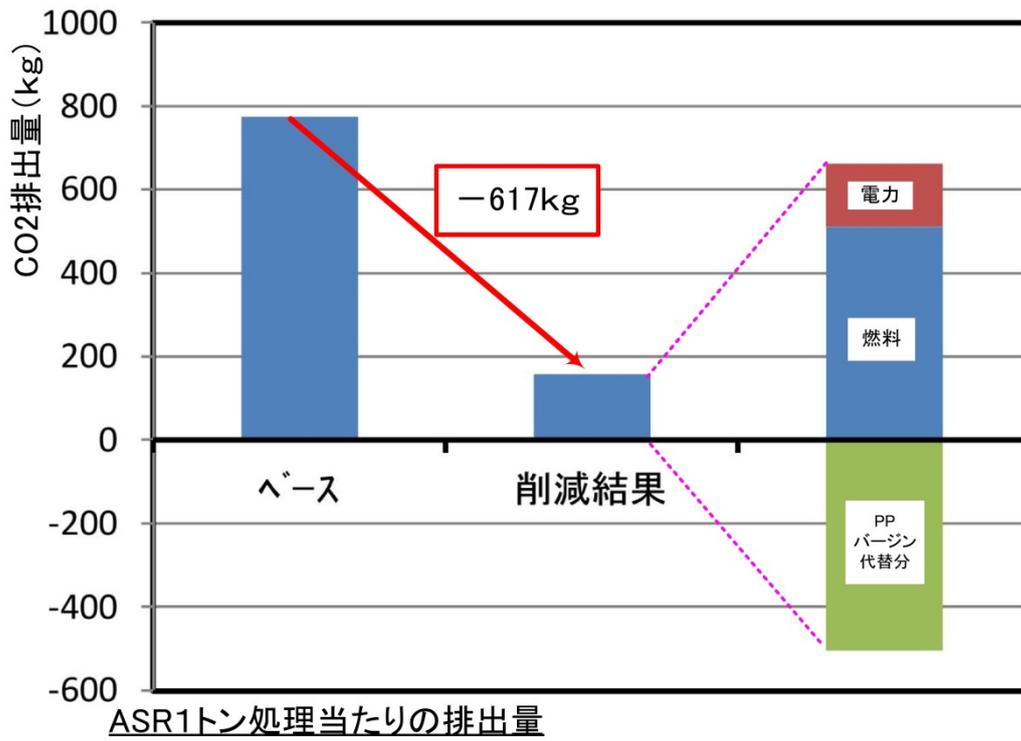
バージン製造代替分：-504.22kg（表 3.5.1-6 参照）

原燃料分（リサイクル材を除く残り）：511.50kg（表 3.5.1-6 参照）

合計（ + + ） = 157.86kg となり、

削減効果：775kg - 157.86kg = 617kg となる。

図 3.5.1-9 CO2削減量 (ASR樹脂回収 340kgの場合)



3.6 ASRの材料リサイクルに伴う経済性評価

本章では、まず「3.6.1」において経済性評価の検討対象としたASR選別プラントについて、次に「3.6.2」において検討対象に関する損益分岐点について、そして「3.6.3」においてプラスチックの回収量と単価設定の考え方を述べる。最後に「3.6.4」において損益評価結果を述べる。

3.6.1 検討対象施設と稼働条件

再生プラスチック分別・回収業者がASR再資源化施設からプラスチック含有比率の高いASRを仕入れて、更に分別を行い、プラスチックの品位をあげて樹脂コンパウンド業者に販売するビジネスに関して事業実現性評価を図 3.6.1-1 の手順で行った。

分別施設の処理フローは、家電リサイクルで実績のある混合プラスチック選別プラントにASR由来の廃プラスチック選別に必要な設備を追加して提言した処理システム(第3.2.2-3 ASR選別システム構築の課題 参照)を用いるものとした。

本実証事業での施設を新たに設置して設備投資を行う場合と既設設備で設備投資不要の場合に分けて検討した。

処理システムフローを図 3.6.1-2 に示す。

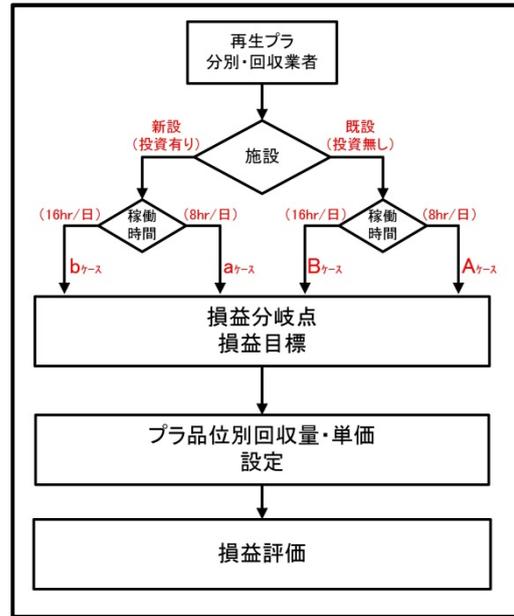


図 3.6.1-1 検討手順

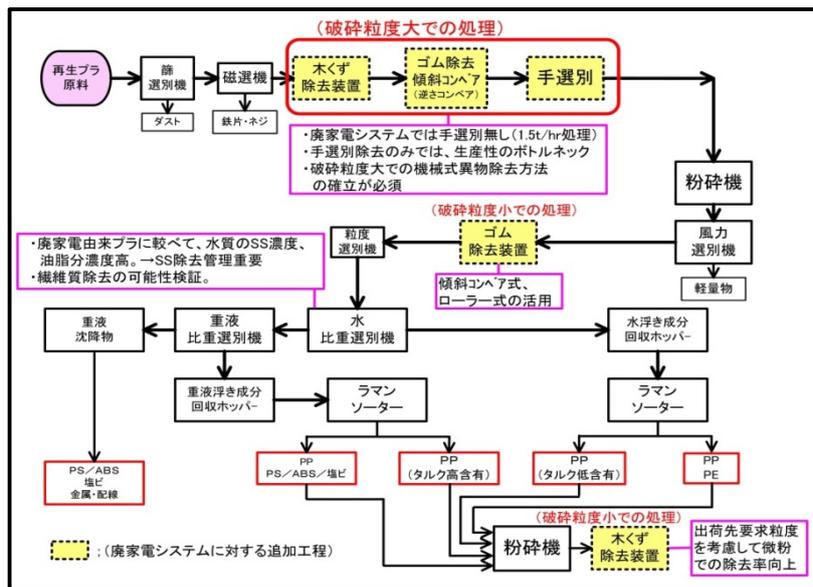


図 3.6.1-2 検討対象プラントの処理フロー

図 3.6.1-2 に示す設備機器の投資金額想定値を表 3.6.1-1 に示す。

表 3.6.1-1 は、経済性評価に定量性を持たせるために、過去のコストデータを元に想定したものであり、機器メーカーからの見積取得を行ったものではない。また、土地・建物建設費については、今回の評価に含めていない。

表 3.6.1-1 機械設備投資想定値

No.	機器名称	数量	コスト (百万円)
1	コンベア搬送系	一式	20.0
2	エア搬送系	一式	20.0
3	選別系(振動篩、磁選機、風選機)	一式	40.0
4	異物除去系(木くず、ゴム除去)	一式	30.0
5	粉碎機	2基	50.0
6	比重選別系(水比重、重液比重)	一式	50.0
7	水処理系(凝集沈殿装置、フィルタプレス)	一式	30.0
8	黒色プラ識別・分別装置	一式	60.0
9	補助系(集塵、圧縮空気)	一式	25.0
10	電気設備(受変電・動力盤など)	一式	25.0
(合計)			350.0

投資額 3 億 5 千万円の 7 年償却
(定率法)での各年度償却費を
図 3.6.1-3 に示す。

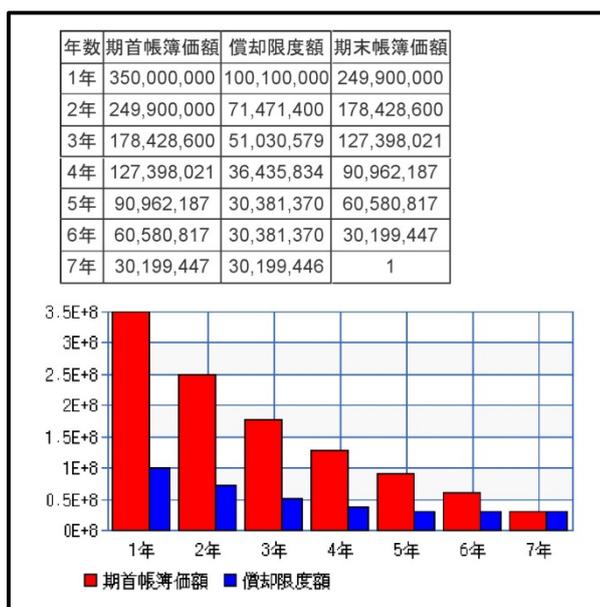


図 3.6.1-3 設備投資の償却費用

分別施設の処理能力と必要運転人員は次の通りとする。

- 1) 処理能力 2 トン/hr
- 2) 運転人員 (8時間1シフト当たり以下とする)
マテハン・設備メンテ; 3名、
手選別等品質管理; 4名
- 3) 年間処理能力 (年間300日稼働)
1シフトあたり; $2(\text{ト/hr}) \times 6.5(\text{hr/日}) \times 300\text{日} = 3,900\text{ト}$
2シフト; 7,800ト

設備投資の有無、操業体制(1シフト又は2シフト)により、損益評価の条件が異なるため、図3.6.1-1にA、B、a、およびbと記載した4つのケースに分けて損益評価を行う事とした。

3.6.2 損益分岐点

- 1) 運転経費(以下、年間経費を算出)

運転経費を次の通り設定した。

人件費

シフト当りの必要人員7名

- ・1シフトケース: 400万円/(年・人)(福利厚生費込) × 7人 = 28百万円
- ・2シフトケース: 56百万円

動力費

電力負荷: 275.3kw

- ・1シフトケース: $17\text{円/kwh} \times 275.3\text{kw} \times 6.5\text{hr} \times 300\text{日} = 9.13\text{百万円}$ 10百万円
- ・2シフトケース: 20百万円

メンテナンス費(機械設備の損耗品費用)

- ・1シフトケース: 10百万円
- ・2シフトケース: 15百万円

間材費(水処理用副資材費、フレコンバック費など)

- ・1シフトケース: 10百万円
- ・2シフトケース: 15百万円

プラスチックの仕入れ費用

再資源化施設において、ASR含有プラスチックの材料リサイクル化を行うことに伴う収支バランスを模式的に表すと図3.6.2-1のようになる。

従来、セメント原燃料として逆有償支出を行っていたプラスチックを有償化するため、内部経費が増大することになるが、支出削減効果も大きい。例えば、年間20,000トンのASRを取り扱っている場合、重量比率32.2%(6,440ト)の

プラスチックを含有比率 95%（総重量：6,777 トン）で有償化できれば、例えば、15 円/kg のセメント助燃剤処理費分の支出（約 1 億円）が削減できる事になる。再資源化施設の支出削減効果を考慮し、再生プラ分別・回収業者側の事業採算性に協力する意味において、ASR（プラスチック含有比率 95%以上）の売却コストを 1 円/kg と設定する。

- ・ 1 シフトケースの仕入費 4 百万円
- ・ 2 シフトケースの仕入費 8 百万円

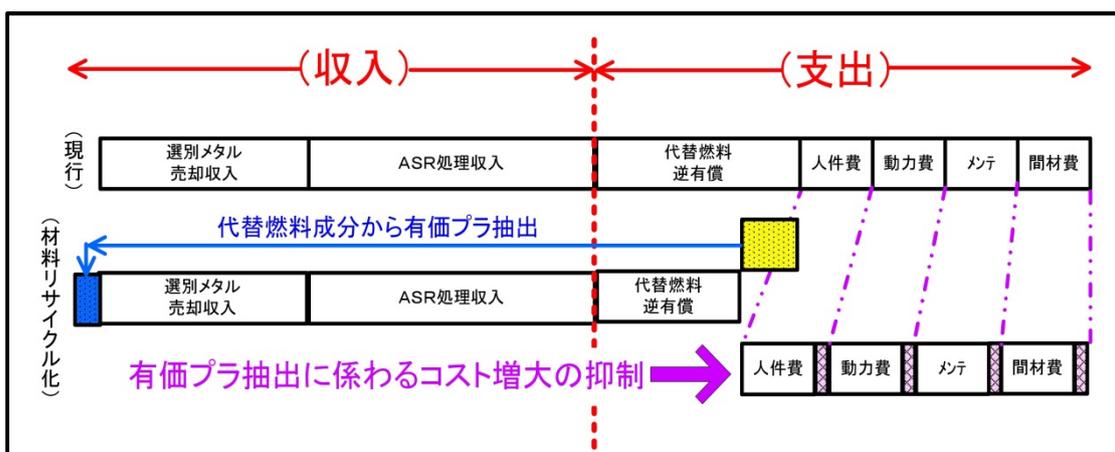


図 3.6.2-1 再資源化施設の収支バランス模式図

2) 損益分岐点

検討手順の図 3.6.1-1 に示した A、B、a、b の各ケースにつき、次の通りとなる。

A（設備投資なし、1シフト稼働、3,900 トン/年処理）

必要最小売上高：62 百万円/年

B（設備投資なし、2シフト稼働、7,800 トン/年処理）

必要最小売上高：114 百万円/年

a（設備投資 350 百万円、1シフト稼働、3,900 トン/年処理）

減価償却期間中（7 年間）の各年度別支出を表 3.6.2-1 に示す。

表 3.6.2-1 a ケースの年度別年間必要経費

a(設備投資350百万円、1シフト稼働、3,900トン/年処理)		(単位:千円)						
	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
人件費	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
動力費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
設備メンテ費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
間材費	10,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(合計)	162,100	138,471	118,030	103,435	97,381	97,381	97,199	67,000

b (設備投資 350 百万円、2 シフト稼働、7,800 トン/年処理)

減価償却期間中 (7 年間) の各年度別支出は表 3.6.2-2 に示す通りとなる。

表 3.6.2-2 b ケースの年度別年間必要経費

b(設備投資350百万円、2シフト稼働、7,800トン/年処理) (単位:千円)

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
人件費	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000
動力費	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
設備メンテ費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
間材費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(合計)	214,100	185,471	165,030	150,435	144,381	144,381	144,199	114,000

3.6.3 プラスチック回収量・単価の検討

(株)サイムの泉大津事業所における A S R 比重選別処理で回収プラスチックに関してマテリアルバランスとして、
図 3.6.3-1 ~ 図 3.6.3-3 の結果が得られた。

この結果より、

- ・水浮きプラ ; 40%
- ・重液浮プラ ; 20%
- ・重液沈降 ; 25%
- ・散逸 ; 15%

の分類を設定した。

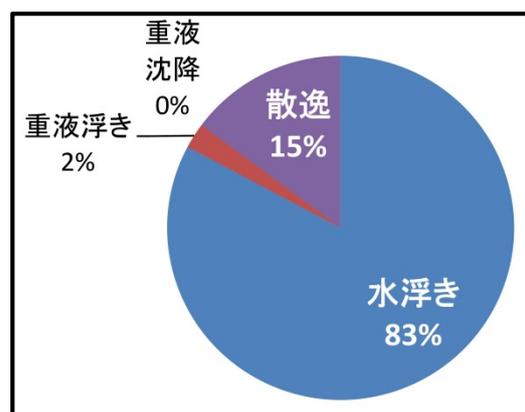


図 3.6.3-1 b 施設 ASRNo1

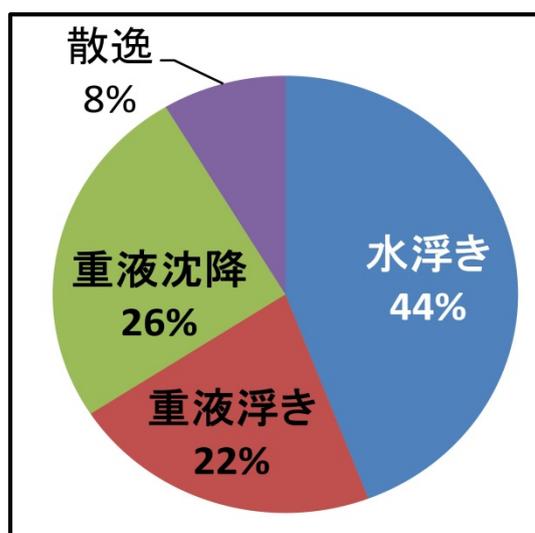


図 3.6.3-2 a 施設 ASR

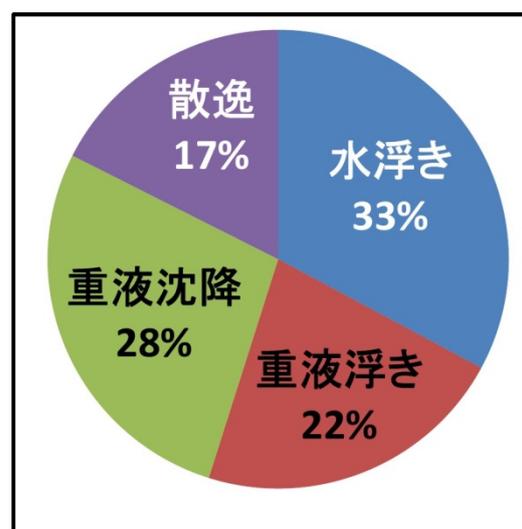


図 3.6.3-3 a 施設 ASRNo2

比重差選別の各部分で回収されるプラスチックの種別については、サンプル分析により図 3.6.3-4～図 3.6.3-6 の結果がえられている。

重液沈降プラスチックでも約 40%は、タルク含有 PP であり、種別選別装置により分別可能で有価対象になると想定する。

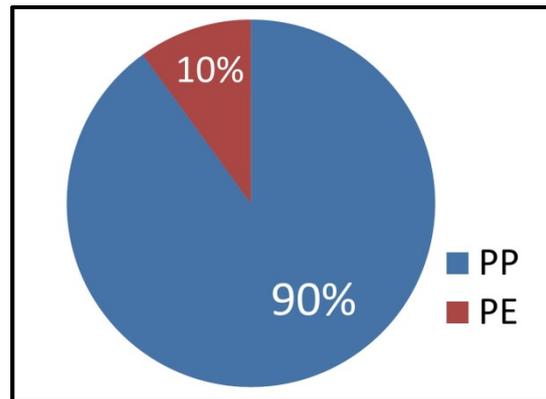


図 3.6.3-4 水浮プラ種別

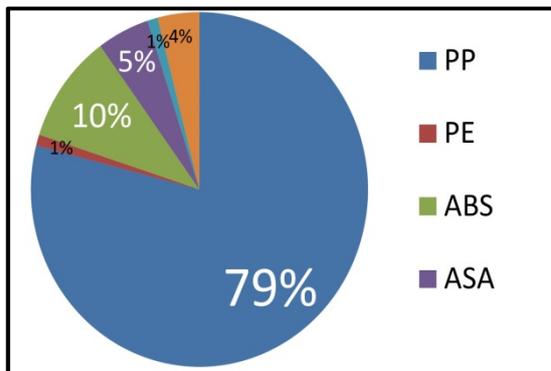


図 3.6.3-5 重液浮プラ種別

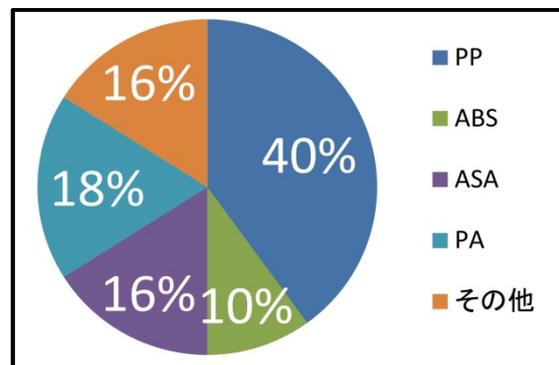


図 3.6.3-6 重液沈降プラ種別

以上の分析結果をベースに分別・回収プラスチックについて、次の品質グレード分類のもとに有価値性を設定する。

高品位プラスチック（水浮きプラスチック）	40wt%（50¥/kg 又は 80¥/kg）
低品位プラスチック（水沈降：PP）	35wt%（15¥/kg）
原燃料化処分	25wt%（-15¥/kg）

3.6.4 損益評価

1) 設備投資不要の場合の損益評価結果を表 3.6.4-1 に示す。

表 3.6.4-1 損益評価（設備投資不要の場合）

	高品位プラ 単価(¥/kg)	回収プラスチック販売収入(k¥/年)			支出(k¥/年)			損益 (k¥/年)
		高品位プラ	低品位プラ	合計	プラ処分	運転経費	合計	
A	50	78,000	20,475	98,475	14,625	62,000	76,625	21,850
	80	124,800	20,475	145,275	14,625	62,000	76,625	68,650
B	50	156,000	40,950	196,950	29,250	114,000	143,250	53,700
	80	249,600	40,950	290,550	29,250	114,000	143,250	147,300

・高品位プラスチックの販売単価が 50 円/kg の場合、
8 時間操業：21,850 千円/年、16 時間操業：53,700 千円/年
の営業利益が見込める。

・高品位プラスチックの販売単価が 80 円/kg の場合、
8 時間操業：68,650 千円/年、16 時間操業：147,300 千円/年
の営業利益が見込める。

2) 設備投資（3,50 百万円）が必要な場合の損益評価結果を以下に示す。

8 時間操業の場合において、高品位プラスチックの販売単価が 50 円/kg、80 円/kg
についての営業利益を表 3.6.4-2 及び表 3.6.4-3 に示す。

表 3.6.4-2 損益評価（設備投資必要、高品位プラ：50 円/kg）

a(設備投資350百万円、1シフト稼働、3,900トン/年処理、高品位プラ:50¥/kg)

(単位:千円)

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
売上	98,475	98,475	98,475	98,475	98,475	98,475	98,475	98,475
人件費	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
動力費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
設備メンテ費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
間材費	10,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
処分費	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(支出計)	176,725	153,096	132,655	118,060	112,006	112,006	111,824	81,625
損益	▲ 78,250	▲ 54,621	▲ 34,180	▲ 19,585	▲ 13,531	▲ 13,531	▲ 13,349	16,850

表 3.6.4-3 損益評価（設備投資必要、高品位プラ：80 円/kg）

a(設備投資350百万円、1シフト稼働、3,900トン/年処理、高品位プラ:80¥/kg) (単位:千円)

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
売上	145,275	145,275	145,275	145,275	145,275	145,275	145,275	145,275
人件費	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
動力費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
設備メンテ費	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000
間材費	10,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
処分費	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625	14,625
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(支出計)	176,725	153,096	132,655	118,060	112,006	112,006	111,824	81,625
損益	▲ 31,450	▲ 7,821	12,620	27,215	33,269	33,269	33,451	63,650

16 時間操業の場合において、高品位プラスチックの販売単価が 50 円/kg、80 円/kg についての営業利益を表 3.6.4-4 及び表 3.6.4-5 に示す。

表 3.6.4-4 損益評価（設備投資必要、高品位プラ：50 円/kg）

b(設備投資350百万円、2シフト稼働、7,800トン/年処理、高品位プラ:50¥/kg) (単位:千円)

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
売上	196,950	196,950	196,950	196,950	196,950	196,950	196,950	196,950
人件費	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000
動力費	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
設備メンテ費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
間材費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
処分費	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(支出計)	243,350	214,721	194,280	179,685	173,631	173,631	173,449	143,250
損益	▲ 46,400	▲ 17,771	2,670	17,265	23,319	23,319	23,501	53,700

表 3.6.4-5 損益評価（設備投資必要、高品位プラ：80 円/kg）

b(設備投資350百万円、2シフト稼働、7,800トン/年処理、高品位プラ:80¥/kg) (単位:千円)

	初年度	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目	7年目	8年目
売上	290,550	290,550	290,550	290,550	290,550	290,550	290,550	290,550
人件費	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000	56,000
動力費	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
設備メンテ費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
間材費	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000	15,000
仕入費	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
処分費	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250	29,250
原価償却	100,100	71,471	51,030	36,435	30,381	30,381	30,199	0
(支出計)	243,350	214,721	194,280	179,685	173,631	173,631	173,449	143,250
損益	47,200	75,829	96,270	110,865	116,919	116,919	117,101	147,300

設備投資の償却期間終了までの損益を比較した結果を図 3.6.4-1 に示す。

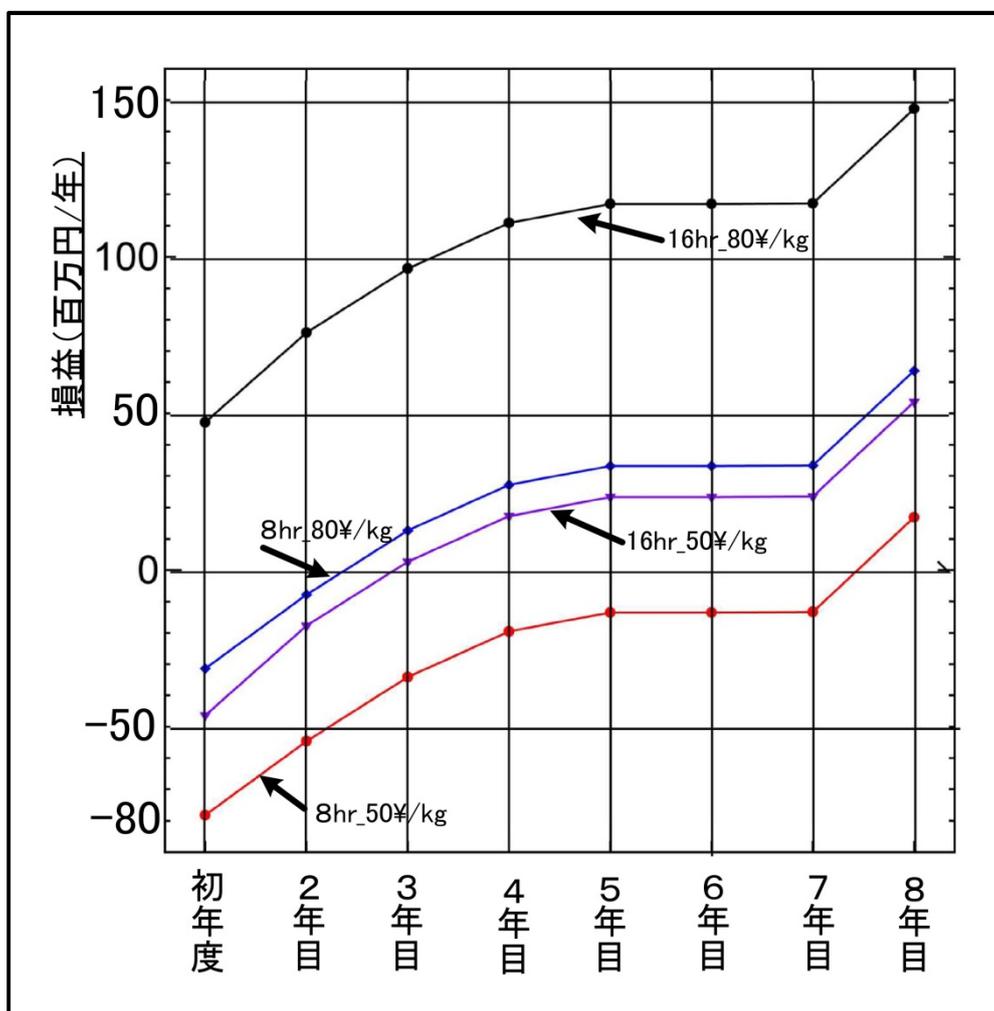


図 3.6.4-1 設備投資償却期間中の損益

損益評価の結果を以下にまとめる。

本実証事業に用いた施設(設備投資不要)適用の場合、年間処理能力(1シフト:3,900トン/年)で高品位単価 50¥/kg でも営業利益確保可能である。

本実証事業に用いた施設と同等の施設を新規設置の場合、

-) 高品位単価 50¥/kg の場合、2シフト操業で3年目から単年度黒字化が可能。
-) 高品位単価 80¥/kg の場合、1シフト操業でも3年目から単年度黒字化が可能。

現状、再資源化事業者からの試験的供給量実績は年間約 600 トン(最大処理能力の 9%未満)であり、事業性確保のためには複数事業者からの回収量増大が必要である。

また、国内の各地域毎でのプラ回収処理拠点化はビジネスモデル成立の可能性はあると言える。

4 本事業の成果

1) A S R 性状分析 (再資源化施設 A S R の分析)

国内 5 ヶ所の再資源化施設における A S R の組成分析を行い、次の結果を得た。

プラスチック含量は、30%弱から 40%程度 (wt% ; 以下本文中同様) である。金属類含量が 0.7% ~ 3.5% の範囲であり、総じて既往調査の 7% に較べて低い。特に、d 施設では、0.7% となっている。

ゴム夾雑物含量は最大 ; 14%弱、最小 ; 4%弱のバラツキがある。

木くず含量は平均的には 1%前後であるが、0.2% と低いところもある。

ウレタン (15.2%)、繊維類 (25.7%) の含有比率が他に較べて、際立って多い施設もある。各々、平均的には、ウレタン ; 8.5%、繊維類 ; 15% である。廃家電由来の混合プラスチックの素材構成の特徴として、次が挙げられる。

a) 樹脂量が 75% から 90%弱と多い。

b) 基本的には冷蔵庫破碎に伴う混合プラスチックが主体であり、夾雑物としては、ウレタンと金属類、及びパテ材などである。ウレタンは風力選別、金属類は水比重選別で容易に除去可能である。

A S R は、廃家電由来の混合プラスチックに較べて、雑多な夾雑物材料の集合体であり、材料リサイクル化にあたっては、ゴム、繊維類、木くずなどの夾雑物除去をどこまで効率的に行う事ができるかが重要な課題となる。

2) A S R 性状分析 (再生プラ分別・回収施設受入 A S R の分析)

国内 5 ヶ所の再資源化施設からの A S R を再生プラ分別・回収施設で受入、組成分析等を行い次の事が明らかになった。

破碎粒度が 15mm アンダ、及び 30mm アンダの大きさに受け入れた 2 ヶ所からの A S R について、樹脂比率は約 80% であった。含有夾雑物としては、ゴム類 : 約 5% ~ 16%、木くず : 約 1% ~ 8% であった。

破碎粒度 35mm ~ 100mm の大きさに受け入れた A S R は、再生プラ分別・回収施設側で更に手選別を含めて、夾雑物除去の前処理を行い、樹脂含量比率を約 99% にまで高めた。但し、人手作業の投入工数が大きく、事業性の観点から夾雑物除去工程効率化の必要を認識した。また、破碎粒度 100mm 以上の A S R は、再資源化施設側で手選別されたものであり、樹脂含量はほぼ 100% であった。

受入れた A S R の含有プラスチック種別を分析するために、予備的に水比重選別、重液比重 (重液比重 : 1.07) 選別を行い、a) 水比重浮き成分、b) 重液比重浮き成分、c) 重液比重沈降成分を回収した。各々のプラスチックに対して、赤外分光分析装置による種別判定を行った。代表的な樹脂種別の比率として下記結果を得た。

- a) 水比重浮き成分； PP:90%、PE:10%
- b) 重液比重浮き成分；PP:79%、PE:1%、ABS:10%、ASA:5%
- c) 重液比重沈降成分；PP:40%、ABS:10%、ASA:16%、PA:18%

純粋 PP の比重量は、0.92 であり、比重成分の各々で PP が回収されているため、PP に添加されている添加剤タルクの含量を蛍光 X 線分析装置により分析した。代表的なサンプルに対して、下記の結果を得た。

- a) 水比重浮きの PP: (外無) :56%、(外 15%以下) :33%
- b) 重液比重浮きの PP: (外 15%以下) :17%、(外 20%～35%) :67%
- c) 重液比重沈降の PP: (外 20%～35%) :45%、(外 20%～35%) :40%

3) A S R 選別システムの構築

廃家電由来の混合プラスチック処理目的で構築された処理工程に A S R 含有の夾雑物除去を組み込んで構築する A S R 処理工程は、次の配慮が必要である。

破砕粒度が大きい段階での夾雑物除去

- ・木くずが長もの棒状の形態であることに対応した除去装置の考案
- ・逆さコンベアの有効性は確認しており、傾斜コンベアとの総合的実証
- ・破砕機の破砕特性（ゴムをせん断処理しない）と組み合わせ、選別対象物を循環処理して、除去対象物の割合を高めて手選別作業者除去効率の向上

破砕粒度が小さい段階での夾雑物除去

- ・散逸量低減の傾斜コンベア方式やローラー方式によるゴム除去装置の考案
- ・木くず除去に帯電摩擦方式を採用する場合、適合する破砕粒度が 0.15mm～3.0mm であることを念頭に、出荷先樹脂製造業者の要求粒度以内での細粒化

水比重差選別による SS 除去・水質管理

- ・A S R の場合、廃家電由来の混合プラスチックに比べて、混入汚れが大きく、水比重選別装置に持ち込まれる浮遊固形物濃度（SS 濃度）やノルマルヘキサン濃度が高い。連続的な S S 除去による水質一定（比重）管理

4) 比重差選別処理（マテリアルバランス）

再資源化施設からの A S R を株式会社サイムの関西事業所処理工程に投入して、選別処理に係わるマテリアルバランスデータを得ることが出来た。

代表的なマテリアルバランスとして、水浮きプラスチック；44%、重液浮きプラスチック；22%、重液沈降プラスチック；26%、風選・篩・散逸など；8%であった。

5) 比重差選別処理（選別精度）

水比重選別の水浮き成分として約 60wt% の添加剤タルクを含まない P P が回収されることを確認できたが、本来、水沈降となるタルク含量 20% 以上の P P が水浮き成分に混入した結果となり、水比重選別装置の水質管理により、選別精度の維持向上に努める必要性が認識された。

また、重液比重選別の浮き成分は比重 1.0~1.07 の範囲を回収するものであるが、本来回収されるべきタルク含量 20%~30%未満 P P 割合が約 48%~56% となっており、重液比重選別においても、精度向上の向上が認識された。

6) 比重差選別処理 (夾雑物除去効果)

再資源化施設からの受入 ASR において、プラスチック含有比率：80.8% (ゴム：16.3%、木くず：1.6%、ウレタン：0.2%、シート：0.3%) を上記 6) の処理工程に 2 回通して、夾雑物除去効果を確認した。1 回目の処理でプラスチック含有比率は 92.6% に高められたが、2 回目では、更なる効果は見られなかった。ゴム残留比率が約 8% であった。

7) 比重差選別処理 (臭素系難燃剤対策)

再資源化施設からの ASR 複数サンプル (5 サンプル) の各々について、水浮きプラスチック、重液浮きプラスチック、重液沈降プラスチックとして回収したもののから、約 200g づつのサンプルを採取して、透過型 X 線分析装置により、臭素系難燃剤 (Br) を検知する作業を行った。検知したプラスチックフレーク片については、蛍光 X 線分析装置により含有 Br 量を測定した。

水浮きプラスチック； Br 検知無し (水比重選別により臭素系難燃剤は排除可能)

重液浮きプラスチック； 1 サンプル集合体中 1 フレーク片で検知

・採取サンプル集合体の Br 濃度：20.94ppm~54.75ppm

重液沈降プラスチック； 1 サンプル集合体中 5 フレーク片で検知

・採取サンプル集合体の Br 濃度：176.44ppm

8) ラマン散乱分光法処理

プラスチック種別とタルク添加剤含量が既知の黒色プラスチック試験片のラボ試験を行い、レファランス試験片毎にスペクトルの時系列データから、スペクトル強度と頻度分布の関連データを取得した。

P P 材のみで混合プラスチックが構成され、タルク含量比率が異なるプラスチックを対象に上記のデータを基に閾値を設定して分別した。エア選別の打ち落とし側に、タルクなし PP~タルク 20%以下含有 PP までの回収を期待する分別であったが、20%以上が含有 P P の混入も多く改善が必要な結果となった。

PP、ABS、PS、PPO、ASA で構成されたプラスチックを対象に、PP 回収目的の閾値で分別を行い、打落とし側に PP の相対的な増量が認められ、通過側は ABS の相対的な濃度凝縮が認められた。

9) 回収プラスチックのリサイクル可能性検討

水比重選別処理の水浮き成分として回収した次の 2 つのプラスチックについて、一軸のプラスチック押し出し機によりリペレットを行い、材料試験片を製造した。

a 施設由来のプラスチックリッチ A S R

b 施設 100mm オール破砕片から手選別回収したプラスチック

上記 はゴム夾雑物残量が多く（10%）、リペレット化が困難であり、材料物性も適用範囲外のものとなった。

上記 は押出し機からの安定的なプラスチックストランド引きが可能であり、材料物性もバージン材に対して曲げ強度、引張強度について 20%～30%の低減はあるが、再生使用の見通しが得られた。

1 0) A S R の材料リサイクル化に伴う二酸化炭素排出量抑制効果

本実証事業での知見として、A S R 1 トンあたりの含有プラスチック（約 34%）の半分（約 170kg）が材料リサイクル可能と判断した。これをもとに、処理工程の使用エネルギーにより排出される C O 2 量と材料マテリアル回収によりバージン材製造代替えとして削減される C O 2 排出量を機能単位（A S R 1 トン処理）あたりについて、排出原単位データを用いて評価した。結果は、従来のセメント製造原燃料とした場合の総排出量 775kg に対して 274kg の削減可能（総排出量 = 775kg - 274kg = 501kg）の結果が得られた。仮に、A S R 1 トンに含まれるプラスチック 340kg 全量がマテリアルリサイクル可能となった場合は、C O 2 排出量の削減は、617kg となり、この目標に向かって、マテリアルリサイクルの量拡大が今後の課題である。

1 1) A S R の材料リサイクル化に伴う経済性評価

経済性評価の結果は次のとおりである。

本実証事業に用いた施設（設備投資不要）適用の場合、年間処理能力（1 シフト：3,900 トン/年）で高品位単価 50¥/kg でも営業利益確保可能である。

本実証事業に用いた施設と同等の施設を新規設置の場合、

）高品位単価 50¥/kg の場合、2 シフト操業で 3 年目から単年度黒字化が可能

）高品位単価 80¥/kg の場合、1 シフト操業でも 3 年目から単年度黒字化が可能

現状、再資源化事業者からの試験的供給量実績は年間約 600 トン最大処理能力の（9% 未満）であり、事業性確保のためには複数事業者からの回収量増大が必要である。

また、国内の各地域毎でのプラ回収処理拠点化はビジネスモデル成立の可能性はあると言える。

5 今後の要検証項目

本実証事業では、廃自動車リサイクルに係り、

A 解体業者 B 破碎業者 C 再資源化業者 D 再生プラ分別回収業者

E コンパウンド業者 F 部品業者

の一貫フローの中で、ASRに含まれるプラスチックに関する材料リサイクルを図る仕組みづくりの事業化検討を行った。

本事業で得られた知見の概略と今後の検証項目、並びにそれを基にした目標を図 5.1 にまとめた。

1) ASRの夾雑物除去

「4. 本事業の成果」9) に示すように、一軸押し出し機でのリペレットが可能なプラスチックリサイクル原料は

再資源化業者での手選別で夾雑物が除去されたもの

プラ再生分別・回収業者での追加の手選別で夾雑物が除去されたもの

であり、プラスチック純度はコンパウンド業者に渡る時点で99%以上必要である。

また、「4. 本事業の成果」2) に示すように、再資源化業者の現状のフル機械選別（手選別無し）では樹脂純度80%、セミ機械選別（機械選別＋手選別）では樹脂純度70%～100%であり、夾雑物除去率を高める必要がある。

夾雑物除去率を高める方法として、

ASR破碎粒度の大小に応じて、各々に適合した機械装置の創出

人手作業の負荷を下げ、効率的な手選別除去工程の創出

を行い、検証作業が必要である。

夾雑物除去の結果としての樹脂純度目標を

再資源化業者で95%

再生プラ分別・回収業者で99%

とした。

夾雑物除去を行ったプラスチック原料表面には、細かな塵ゴミの付着がある。リペレット化の前にこれらを洗浄除去する工程を行うものとして、洗浄除去後の樹脂純度目標を99.99%とした。

一軸押し出し機の生産性目標としては、押し出し機スクリーンメッシュ#100で30分以上ストランドが安定的に引ける事として目標とする。

2) ラマンソーターのASR黒色プラスチックへの最適条件設定

「4. 本事業の成果」8) に示すように、黒色プラスチックの種別既知(プラスチック種別、添加剤タルク含量)の標準材料を対象にラマンスペクトルを計測し、ピーク高さの時系列から選別対象物のスペクトル強度分布のデータを取得し、添加剤含量とスペクトル強度分布の相関から識別閾値による分別の見通しを得た。

識別閾値の設定により、家電対応のラマンソーターによる分別実証試験を行い、ある程度の分別可能性は見出すことができた。しかし、当該ソーターのレーザー照射時間は白物家電対応に適合の3ミリ秒であり、黒色ASRには照射時間が短いことが認識された。適合する条件設定での評価検証が必要である。

3) ASR由来の再生樹脂特有課題である黒色タルク含有プラリサイクル技術の確立

本実証事業では、ASR由来のPP樹脂分別回収の課題である黒色タルク含有プラスチック識別をラマン散乱分光法技術の活用で行う事に対する見通しを得る事ができた。今後の更なるリサイクル技術確立のためには、

ラマン識別の精度向上のため、数値解析手法等によるノイズ管理の
確立

リサイクル材料の品質管理手法の確立

等に係る技術検証を進める必要がある。

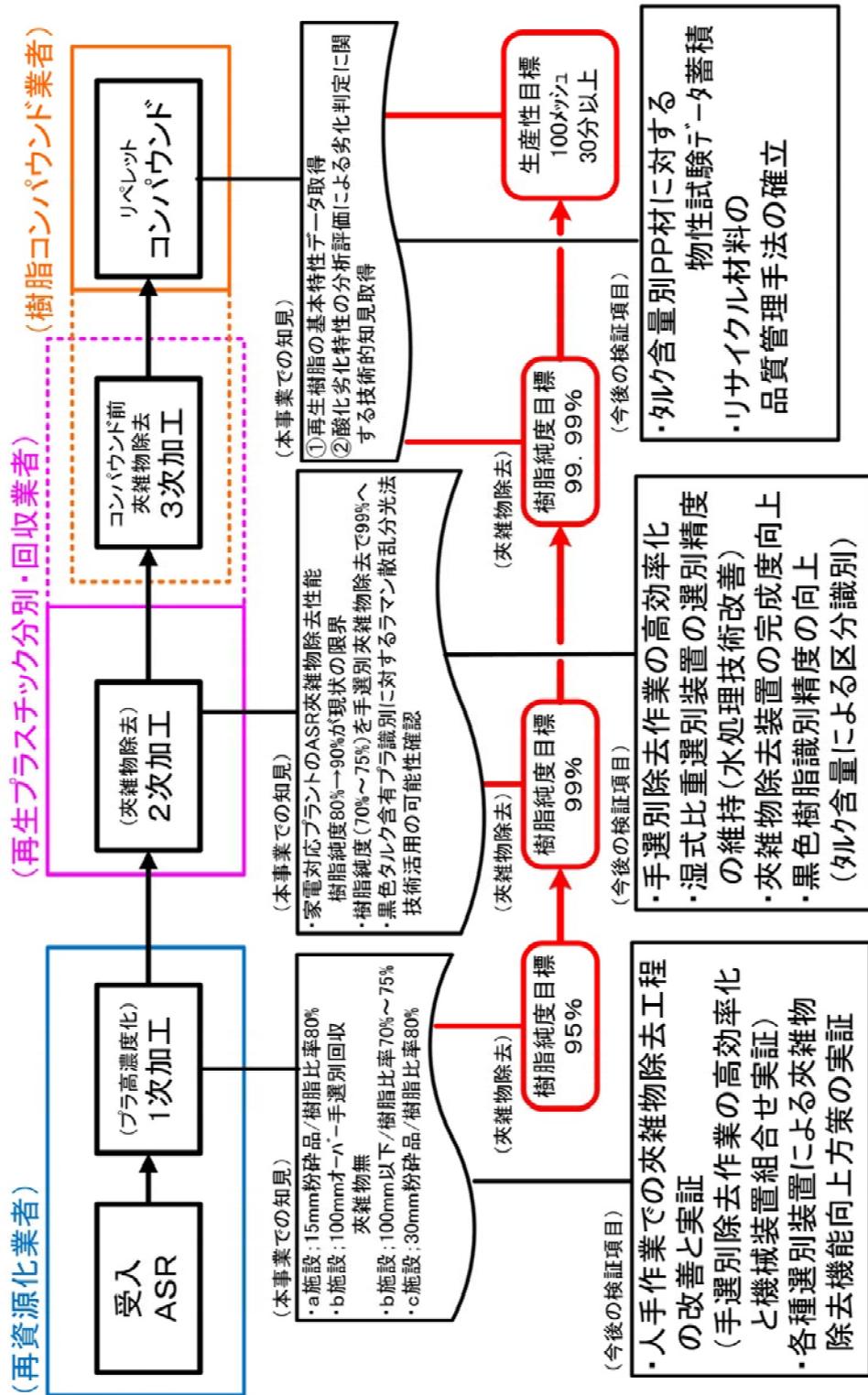


図5.1 材料リサイクル化に向けての今後の更なる検証項目

添付資料- 1

平成 27 年度低炭素型 3 R 技術・システム実証事業 A S R から材料リサイクルを図る仕組みづくり 受託研究報告書

報告先：豊田通商株式会社

報告者：近畿大学産業理工学部 河濟博文

平成 28 年 1 月

本委託研究では、具体的には以下を実施した。

株式会社サイムで選別回収されたA S Rプラスチック片の成分分析を行うために必要な適切なサンプル数の決定方法の検討

に基づき決定したサンプル数を、研究室レベルでの分析装置で分析し、その測定結果からA S Rプラスチック片の成分分布の算出
具体的な実証作業を行った(株)サイムと連携し、選別回収操作や再利用法調査につき、評価・助言を行った。

、 に関して順次まとめる。 に関しては、(株)サイムからの報告書を参照のこと。

サンプル数決定方法の検討

今回のA S Rプラスチック片の成分分析では2通りの測定が求められた。ひとつはプラスチック成分、すなわちP P , P E , P S , A B Sというプラスチックの種類分布(A)、もうひとつは、P Pにのみ添加されているタルク含量の分布(B)である。それぞれ統計理論に従い、次のように検討した。

(A) プラスチック種類分布の場合

母集団の推定値が比率の場合(つまり、プラスチック成分「分布」を求めるようなとき)は次式を使う。ただし、母集団Nがサンプリング数nに比べ非常に大きい時(廃プラ分析

$$n = \left(\frac{\alpha}{\delta}\right)^2 p(1-p)$$

では成立すると考えられる)

この式の中の各パラメータを以下のように設定した。

信頼水準 : 95% 1.96

標本誤差 : 10% 0.1

回答比率p: 測定する値(分布)のこと。これを求めたいので、まずは、見込みや予備測定から決める。分布が五分五分のとき、たくさんサンプリングしないと何とも言えないので、0.5でサンプリング数は最大値となる。その結果、次のサンプリング数が得られた。

回答比率	サンプリング数
0.1	35

0.2	61
0.3	81
0.4	92
0.5	96

結論

誤差 10% によれば（廃プラ成分分布なら十分）、最大で 96 個、分布に偏りがあれば 60～80 個の測定で良い。具体的には、PP/PS/ABS が 30% ずつと予想されるなら 100 個、分布に大きな偏り（8:2）があれば 60 個、そこそこの偏り（7:3）で 80 個。したがって、100 個 サンプルすれば十分な精度でプラスチック成分の分布が測定できると考えた。

サンプル数の決定（含量測定の場合）

（B）タルク含量を求める場合

$$n = \left(\frac{\alpha}{\delta}\right)^2 s^2$$

これは、母集団の推定値が平均値となるような場合に相当する。次式を使う。

この式の中の各パラメータを以下のように設定した。

信頼水準 : 95% 1.96

標本誤差 : 10% 0.1

標準偏差 s : 測定した値がどれくらい分散しているか、を示す標準偏差。これは事前に分からないので、見込みや予備測定から決める。求められる含量の測定結果の平均値に対する割合を標準偏差として変化させた場合、次のサンプル数が得られた。

標準偏差	サンプル数	
0.1	4	例えば、含量の平均値が 20% で、ほとんど（95%）の測定値が 14%～24% の間にあるようなとき
0.2	15	例えば、含量の平均値が 20% で、ほとんど（95%）の測定値が 12%～28% の間にあるようなとき
0.3	35	例えば、含量の平均値が 20% で、ほとんど（95%）の測定値が 8%～32% の間にあるようなとき
0.4	61	例えば、含量の平均値が 20% で、ほとんど（95%）の測定値が 4%～36% の間にあるようなとき

結論

測定値がどの程度ばらつくか、言い換えれば、試料がどの程度選別されているか、によってサンプル数は、数個～60 個程度で変化する。これまでのタルク含量分布測定から、タルク含量（「含まない」を除く）は、比較的広い範囲で正規分布状の分布をしていると

見なせる。従って、大きな標準偏差があるとして 50 個サンプリングすれば、含量分布の全体像が予測可能となる。ただし、「分布」自体の精度を高める必要があれば、「(A)プラスチック種類分布の場合」に従って 100 個サンプリングする必要がある。一方、また、あるセグメントの含量平均値を知りたいければ、10 個でも十分である。

参考文献

- 1) 総務省統計局 調査に必要な対象者数
<http://www.stat.go.jp/koukou/trivia/careers/career8.htm>
- 2) 食品総合研究所 食品サンプリングに関するガイダンス
<http://www.naro.affrc.go.jp/org/nfri/yakudachi/sampling/>
- 3) 世論調査におけるサンプリング数の決定
<http://www.wound-treatment.jp/next/wound225.htm>
- 4) 適切なサンプリング数とは？
<https://www.cbase.co.jp/service/webresearch/article/article25/>

研究室での分析操作と測定結果

(A) 使用した分析機器

プラスチックの種類判定には、赤外分光法を使用した。プラスチックは固体試料であるため、通常の透過法では測定できない。測定操作を迅速に行うことができる拡散反射法で行った。図 1 にフーリエ変換赤外分光光度計（島津製作所 IRPrestige-21）を示す。拡散反射測定装置 DRS-8000 を取り付けている。プラスチック種類判定は、 $400\text{cm}^{-1}\sim 4000\text{cm}^{-1}$ の範囲を測定し、プラスチック特有のピークの有無により目視で判定した。

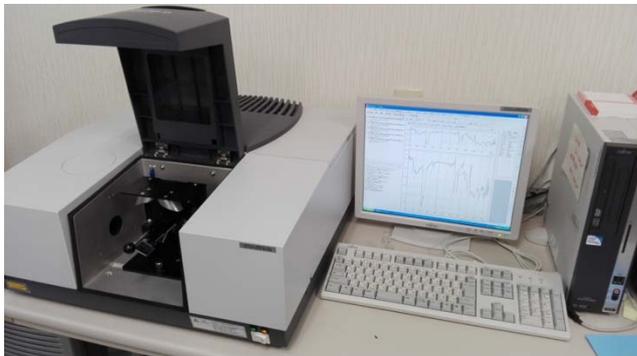


図 1 フーリエ変換赤外分光光度計

タルク含量の測定には、蛍光 X 線法を使用した。エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置（島津製作所 EDX-GP）を図 2 に示す。タルクとは、滑石とも呼ばれるケイ酸塩鉱物であり、化学式は $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ である。そこで、1.739 keV に現れるケイ素（Si）の K 線の強度でタルク含量を求めた。また、必要に応じ、プラスチックに添加されている難燃剤に含まれる臭素や混入した金属の分析も行った。

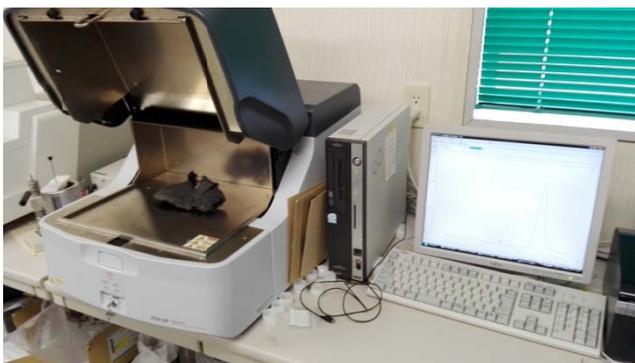


図 2 エネルギー分散型
蛍光 X 線分析装置

(B) 測定結果

プラスチック（この場合は P P）の赤外吸収測定画面を図 3 に示す。ピーク判定に十分な S N比で測定ができていることが分かる。

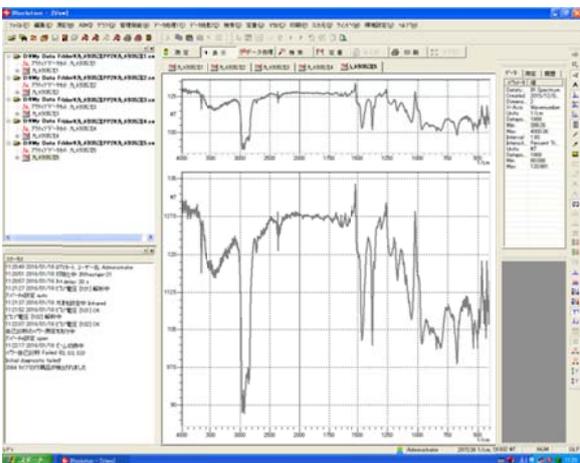


図 3 赤外吸収測定画面

蛍光 X 線測定画面を図 4 に示す。上段はタルクからの X 線ピーク、下段は Si K 線のピーク強度から求めた検量線である。また、図 5 には金属検出の様子を示す。

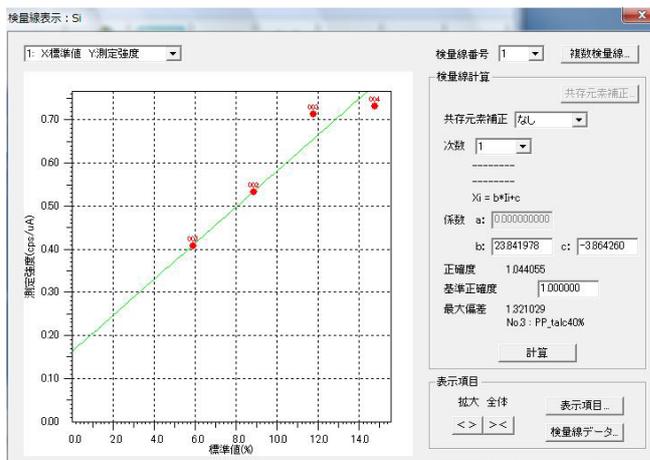
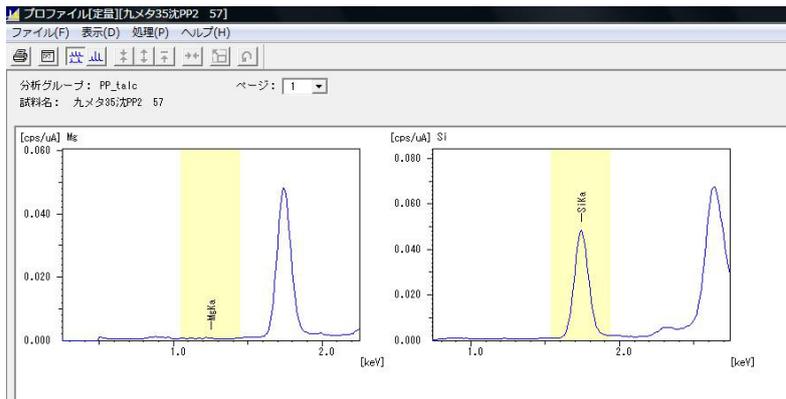


図4 蛍光X線測定画面

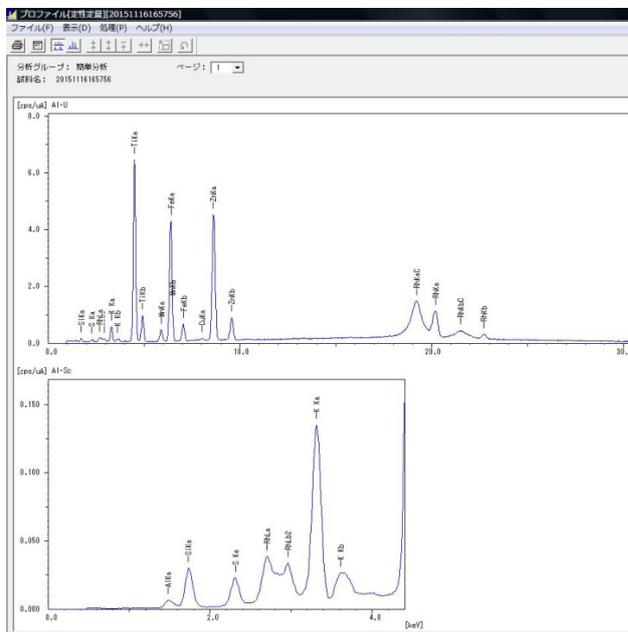


図5 蛍光X線による金属検出

試料のプラスチック片は、図6に示すよう一つずつファイルに保存し、測定結果をエクセルのファイルで一覧とし、(株)サイムに報告した。



図6 測定結果の保管状況
測定結果エクセルファイルの例

番号	種類	Si(%)	質量(g)	talc(%)
1	PP	7,734	0,144	26,12838
2	PP	6,719	0,172	22,69932
3	PP	9,872	0,108	33,35135
4	PP	8,492	0,103	28,68919
5	PP	9,084	0,171	30,68919
6	PP	6,249	0,156	21,11149
7	PP	7,726	0,153	26,10135
8	PP	3,297	0,468	11,13851
9	PP	7,848	0,102	26,51351
10	PP	6,183	0,164	20,88851
11	PVC	0	0,173	0
12	PP	0	0,146	0
13	PP	5,169	0,133	17,46284
14	PP	6,806	0,155	22,99324
15	PP	5,441	0,137	18,38176
16	PP	6,127	0,166	20,69932
17	PP	7,542	0,145	25,47973
18	PP	8,67	0,12	29,29054
19	PP	6,999	0,163	23,64527
20	PP	13,035	0,219	44,03716
21	PP	6,785	0,13	22,9223
22	PP	0	0,136	0
23	PP	8,057	0,116	27,21959
24	PP	12,491	0,103	42,19932
25	PP	9,926	0,271	33,53378
26	PP	7,19	0,164	24,29054
27	PP	9,187	0,169	31,03716
28	PP	7,507	0,142	25,38149
29	PP	8,168	0,194	27,59459
30	PP	9,35	0,272	31,58784
31	PP	7,724	0,209	26,09459
32	PP	7,015	0,204	23,69932
33	PP	8,351	0,115	28,21284
34	PP	7,752	0,088	26,18919
35	PP	8,799	0,153	29,72635
36	PP	12,387	0,136	41,84797
37	PP	9,149	0,144	30,90878
38	PP	5,813	0,321	19,63851
39	PP	11,604	0,089	39,2027
40	PP	9,774	0,155	33,02027
41	PP	9,363	0,07	31,63176
42	PP	6,94	0,208	23,44595
43	PP	7,823	0,089	26,42905
44	PP	0	0,135	0
45	PP	10,282	0,26	34,73649
46	PP	8,646	0,272	29,20946
47	PP	8,297	0,1	28,03041
48	PP	10,009	0,068	33,81419
49	PP	0	0,195	0
50	PP	12,129	0,123	40,97635
51	PP	7,055	0,134	23,83446
52	PP	0	0,095	0
53	PP	9,726	0,077	32,85811
54	PP	1,991	0,131	6,726351
55	PP	8,433	0,149	28,48986
56	PP	9,942	0,146	33,58784
57	PP	8,018	0,103	27,08784
58	PP	8,303	0,1	28,05068
59	PP	9,37	0,136	31,65541
60	PP	6,639	0,109	22,42905
61	PP	5,757	0,153	19,44932
62	PP	9,072	0,125	30,64865
63	PP	10,517	0,157	35,53041
64	PP	7,255	0,101	24,51014
65	PP	4,685	0,119	15,8277
66	PP	10,07	0,147	34,02027
67	PP	6,719	0,111	22,69932
68	PP	9,188	0,067	31,04054
69	PP	11,425	0,083	38,59797
71	PP	6,962	0,265	23,52027
72	PP	2,176	0,25	7,351351
73	PP	9,167	0,15	30,98959
74	PP	7,765	0,187	26,23311
75	PP	5,712	0,177	19,2973
76	PP	0	0,182	0
77	PP	7,26	0,114	24,52703
78	PP	7,377	0,108	24,9223
79	PP	10,717	0,077	36,20608
80	PP	9,494	0,1	32,07432
81	PP	7,678	0,14	25,93919
82	PP	7,88	0,097	26,62162
83	PP	0	0,078	0
84	PP	6,77	0,081	22,87162
85	PP	4,289	0,113	14,48986
86	PP	8,325	0,084	28,125
87	PP	5,552	0,112	18,75676
88	PP	9,69	0,085	32,73649
89	PP	5,893	0,091	19,90878
90	PP	0	0,086	0
91	PP	3,086	0,062	10,42568
92	PP	5,42	0,111	18,31081
93	PP	7,322	0,06	24,73649
94	PP	8,104	0,201	27,37838
95	PP	5,772	0,193	19,5
96	PP	9,642	0,115	32,57432
97	PP	0	0,128	0
98	PP	9,718	0,076	32,83108
99	PP	6,777	0,111	32,69257
100	PP	11,022	0,275	37,23649
101	PP	8,711	0,11	29,42905

タルク含有量	
0	10
5	0
10	2
15	3
20	10
25	72
30	23
35	20
40	5
45	4
45以上	0
質量	
PP	14,218
PVC	0,173

