

令和5年度脱炭素型循環経済システム構築促進事業
(うち、プラスチック等資源循環システム構築実証事業)

複合材分離装置を活用したシュレッダーダスト
リサイクル高度化プロセス構築実証事業
委託業務

成果報告書

令和6年3月

株式会社やまたけ

要 約

自動車、小型家電、産業廃棄物の処理プロセスで発生する混合プラスチックやシュレッターダストには、複数種類のプラスチックやそれ以外の廃棄物等が混合していることから、技術・コストの両面から選別が進んでいない。また、塩素濃度が高いことからサーマルリカバリーにも適さず、埋立処分されている現状がある。国際的にはアジア各国による輸入規制により行き場を失った廃プラスチックが、国内に滞留する問題も発生しており、再利用できない混合プラスチック及びシュレッターダストの再資源化処理技術の開発が望まれている。

本実証事業では、エチレングリコール類の溶媒を使用した複合材分離技術を用いて、自動車由来、産業廃棄物由来、小型家電由来のシュレッターダスト（軽ダスト及び重ダスト）を対象に、マテリアルリサイクル及びケミカルリサイクルに利用できる素材に分離・回収することを目指した。

分離試験の結果は、比重1の水に浮上するプラスチック類については産業廃棄物由来と小型家電由来は大きな差異は見られなかったが、自動車由来に関しては、軽ダストの方が重ダストに比べて12～21.5倍ほど回収率は高くなっており、約36～43%であった。また、沈殿物については、小型家電由来は大きな差異は見られなかったが、産業廃棄物由来と自動車由来は重ダストの方が回収率は高くなっていった。資源性の観点では、最もプラスチック回収が期待できるのは自動車由来の軽ダストで、金属類の回収が最も期待できるのは産業廃棄物由来の重ダストであった。

資源性評価は、プラスチックのマテリアル2次原料及びケミカルリサイクルの油化原料として利活用できるかどうかの試験を行った。マテリアル2次原料の試験は単式押出機の押出加工によるペレット化を目指したが、ゴムや木片、溶媒として使用しているエチレングリコール類が影響してペレット化には至らなかった。油化原料については、3企業にて試験を行った。試験の結果、いずれの企業も残渣率が低く、比較的、油化原料向きの選別が行われているとの評価であり、油化原料としての利用可能性は比較的高いとのことであった。

事業採算性については、比重1の水に浮上するプラスチック類と沈殿物から回収できる非鉄金属類を併せると約22%の資源回収が可能と想定され、それに伴いシュレッターダストの処理コストの削減も期待できることから、削減できる処理コストとのバランスを考慮した設備投資を行う必要があるとの見解に至った。

CO₂削減効果については、溶媒の使用量及び反応時間の条件により、全ての処理対象物においてエネルギー起源CO₂排出削減量が得られ、溶媒を3回程度再生利用し、反応時間を5分程度で運転をすることで、全ての処理対象物でエネルギー起源CO₂排出量が削減できることが分かった。カスタマイズ設計として追加した溶媒の回収と溶媒の再生利用を行う設備の導入及び運転時間の最適化が重要であることが分かった。

以上より、本実証事業で用いたエチレングリコール類を溶媒とした複合材分離技術はマ

テリアルリサイクル2次原料を回収する技術としては解決しなければならない課題や問題点が多く確認されたが、油化原料を回収する技術としてはポテンシャルが高いことが分かってきた。

Summary

Mixed plastics and shredder dust generated in the disposal processes of automobiles, small household appliances, and industrial waste contain various types of plastics and other waste materials mixed. Because of this mixture, sorting has not advanced on both technological and cost. Furthermore, due to the high chlorine concentration, they are unsuitable for thermal recovery and are currently being disposed of in landfills. Internationally, due to import restrictions that are imposed by Asian countries, waste plastics that have lost their destination are causing problems by accumulating domestically. And there is a desire for the development of recycling technologies for mixed plastics and shredder dust that cannot be reused.

In this demonstration project, a composite material separation technology is being employed, utilizing solvents based on ethylene glycol. The project focuses on Shredder dust (both light dust and heavy dust) originating from automobiles, industrial waste, and small household appliances. The goal was to separate and recover materials that can be utilized for material recycling and chemical recycling technology.

The results of the separation tests showed that there was not a significant difference in the floating plastic materials in water with a specific gravity of 1 between those derived from industrial waste and small household appliances. However, automotive-originated materials of the recovery rate for light dust were approximately 12-21.5 times higher than that for heavy dust, reaching around 36-43%. Regarding sediments, no major problems were observed for those derived from small home appliances, but the recovery rate was higher for heavy dust derived from industrial waste and automobiles. From a resource perspective, automotive-derived light dust showed the most promising plastic recovery, while industrial waste-derived heavy dust excelled in metal recovery.

During the resource evaluation, tests were conducted to determine the suitability of utilizing plastic materials as secondary raw materials and as oil feedstock for chemical recycling technology. In the examination of secondary materials, the objective was to pelletize the material through extrusion using a single extruder. However, due to the presence of rubber, wood chips, and the use of ethylene glycol as a solvent, palletization could not be successfully achieved. Regarding the oil feedstock, tests were conducted by three companies. The results of the tests indicated that all three companies achieved low residue rates, and there was a relatively favorable assessment of the sorting for oil feedstock suitability. The overall evaluation suggested a comparatively high potential for utilization as oil feedstock.

Regarding business profitability, it is assumed that approximately 22% resource recovery can be achieved by combining the recovery of plastics that float in water with a specific gravity of 1 and non-ferrous metals recovered from the sediment. Consequently, considering the potential reduction in processing costs for shredder dust, it has been concluded that facility investments, considering the

balance with achievable cost savings in the treatment process which are necessary.

Regarding the Carbon dioxide (CO₂) reduction effect, it was observed that energy-originated CO₂ emission reductions were achievable for all processed materials based on the conditions of solvent usage and reaction time. By reusing the solvent approximately three times and operating for around 5 minutes, it was determined that energy-originated CO₂ emissions could be reduced for all processed materials. It was also found that the introduction of equipment for solvent recovery and reuse, as well as optimization of operation time, are crucial for customized design.

In conclusion, it was confirmed that the composite material separation technology using ethylene glycols as a solvent used in this demonstration project has many issues and problems that must be solved as a technology for recovering secondary raw materials for material recycling. It has become clear that this technology has great potential as a technology for recovering raw materials.

目次

I.	本事業の目標	1
1.	背景と目的	1
2.	解決すべき技術的課題	2
2.1.	複合材分離技術の概要	2
2.1.	事前に行った分離実験の概要	3
2.2.	解決すべき技術的課題	3
3.	実証事業の内容と目標	5
3.1.	事業内容	5
3.2.	目標	7
II.	事業実施内容	8
1.	処理対象物に応じた工程の最適化に関する検討	8
1.1.	複数の選別対象のサンプル作製	8
1.2.	分離試験の実施によるサンプルごとの反応時間・温度帯の最適化の検討	13
2.	複合材分離設備の商用化に関する検討	22
2.1.	カスタマイズ設計の視点	22
2.2.	カスタマイズ設計	24
3.	分離物の高付加価値な利用先に関する検討	26
3.1.	浮遊物のマテリアルリサイクルとしての利用検討	26
3.2.	浮遊物のケミカルリサイクル（油化原料）としての利用検討	33
3.3.	沈殿物のマテリアルリサイクルとしての利用検討	49
4.	複合材分離装置を活用したSRリサイクルの事業化に関する検討	53
4.1.	ヒアリングによる混合プラやSRの処理実態の整理	53
4.2.	事業採算性の評価	64
5.	LCAの検証・評価	66
5.1.	評価に必要な情報の取得	66
5.2.	CO ₂ 削減効果の評価	68
6.	今後の課題と対応方針	76
6.1.	今後の課題	76
6.2.	課題への対応方針	76
III.	おわりに	78
	資料編	79

I. 本事業の目標

1. 背景と目的

当社で処理している自動車、小型家電、産業廃棄物の処理プロセスで発生する混合プラ・シュレッターダスト（以下、「混合プラ・SR」という。）には、複数種類のプラスチックやそれ以外の廃棄物等が混合していることから、技術・コストの両面から選別が進んでいない。また、塩素濃度が高いことからサーマルリカバリーにも適さず、埋立処分されている現状がある。国際的にはアジア各国による輸入規制により行き場を失った廃プラスチックが、国内に滞留する問題も発生しており、再利用できない混合プラ・SR の再資源化処理技術の開発が望まれる。

こうした再資源化処理技術の課題に加え、小型家電を高品位・中品位・低品位別に分別回収する自治体が出てきていること、SDGs への対応や資源循環に関する情報プラットフォーム実証事業などによる分別区分の変更、自動車の外装材への CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics: 炭素繊維強化プラスチック) の採用や解体段階での手解体が進むことなどにより、破砕業者に入荷する処理対象物が異なってくるのが想定される。

そこで本実証事業では、エチレングリコール類の溶媒を使用した複合材分離技術を中心に据え、混合プラ・SR を、リサイクルできる素材に分離・回収する。同時に、湿式選別プロセスが技術・コストの両面から機能する条件を見出し、今後想定される素材構成の変化を想定し、さまざまな混合プラ・SR のリサイクルプロセスを最適化することを目指す。

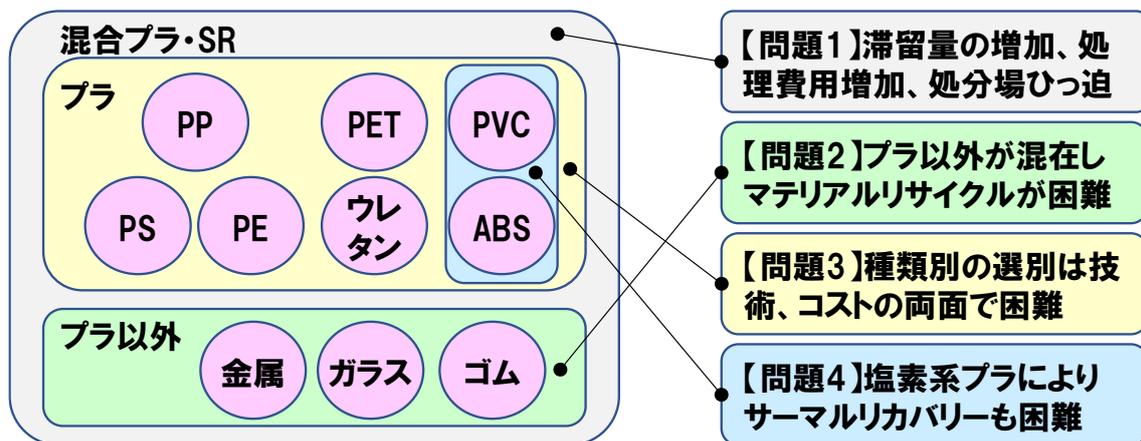


図1 混合プラ・SR のリサイクルにおける課題

2. 解決すべき技術的課題

2.1. 複合材分離技術の概要

ここで、本実証事業で活用する「複合材分離技術」の概要を記載する。複合材分離技術は、アースリサイクル株式会社（以下「アースリサイクル社」という。）が特許技術として所有するものである（特許番号 6050834 号「プラスチック系複合廃棄物の分別回収方法」資料編参照。）。エチレングリコール類を溶媒とし、プラスチック系複合廃棄物进行处理して浮上系プラスチック成分、溶解系プラスチック成分及び沈降系プラスチック成分とに分別して回収する方法である。プラスチック系複合廃棄物を油化原料として使用するために開発された前処理技術であり、浮上系プラスチックが油化原料として取り出される。本実証事業では、プラスチック系複合廃棄物として小型家電由来（以下「小電由来」という。）、自動車由来（以下「ASR (Automobile Shredder Residus)」という。）、産業廃棄物由来（以下「産廃由来」という。）の混合プラ・SRを選択し、浮上系プラスチックを中心に、高付加価値な利用方法を検討しようとするものである。なお、図2に示している装置がバッチ式の複合材分離装置である。



図2 複合材分離装置（バッチ式）

2.1. 事前に行った分離実験の概要

当社では本実証事業に入るにあたり、ASR をサンプルとして本実証事業で使用する複合材分離装置での分離実験を行ってきた（溶媒 230℃で 1 時間処理を実施）。

図 3 に示すとおり、浮遊物、溶解物、沈殿物に分離されており、PP・PE が中心とされる浮遊物が 38%、金属等が中心とされる沈殿物が 40%、ウレタン等が中心とされる溶解物が 22% となった。

この結果から、浮遊物と沈殿物がマテリアルリサイクル等の原料として評価できれば、処理困難物である ASR の処理に大きく貢献できるものと考えた。

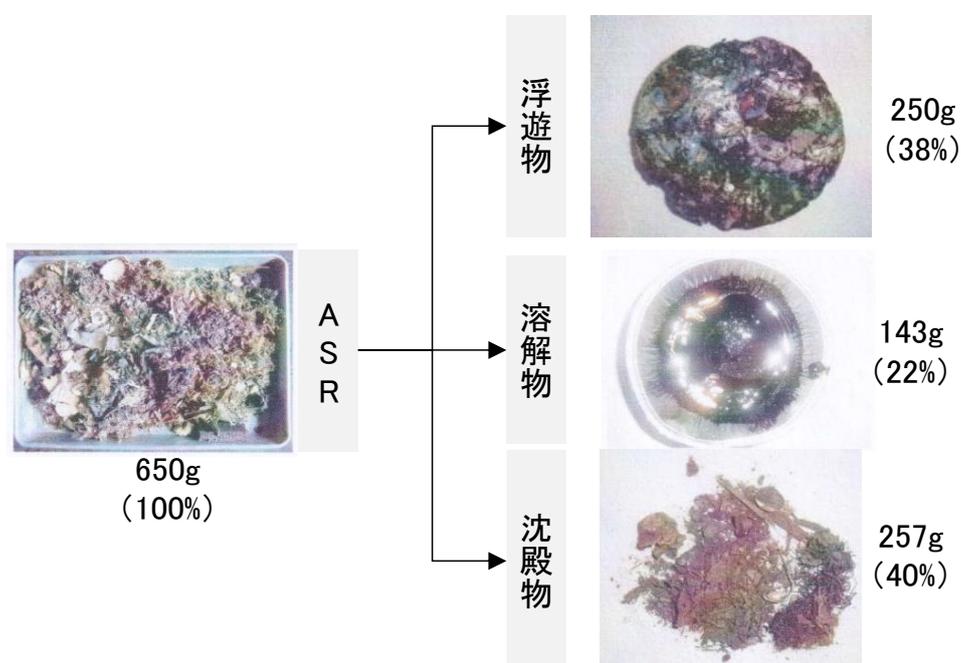


図 3 サンプルで実施した ASR の分離実験結果

2.2. 解決すべき技術的課題

こうした事前の検討を踏まえ、本実証事業において解決すべき課題を 3 点に整理した。

2.2.1. 処理対象物の組成変化への対応

1 点目は、「処理対象物の組成変化への対応」である。当社のようなリサイクラーでは、特定の品目だけではなく、多種多様な品目を中間処理している。

2.2.2. 商用化に向けた大規模化・連続運転化

2 点目は、「商用化に向けた大規模化・連続運転化」である。現在は容量 50L の電気加熱

式小型炉にバッチで処理を行っている。商用化に向けて、大規模化・連続運転化の設備機構の設計が必要である。

2.2.3. 複合材分離工程で分離・回収したリサイクル原料の高付加価値な出口検討とそのために必要となる後処理工程の検討

3点目は「複合材分離工程で分離・回収したリサイクル原料の高付加価値な出口検討とそのために必要となる後処理工程の検討」である。

本実証事業で活用する複合材分離装置では、オレフィン系プラスチック（PP・PE・PS 混合物）が浮遊し、PET・ウレタン・ナイロンが溶媒に溶解し、その他金属等が沈殿する。ここで、浮遊物である PP・PE・PS 混合物はペレット用原料や油化原料としての活用を想定しているが、ユーザー評価を行う必要がある。

また、溶解物である PET・ウレタン・ナイロンは分離剤を用いることで PET、ウレタン、ナイロンに分離できる可能性があり、分離のための後処理工程を検討する必要がある。

3. 実証事業の内容と目標

3.1. 事業内容

3.1.1. 処理対象物に応じた工程の最適化に関する検討（事業1）

選別対象の組成（金属、木材、樹脂種類等）によって溶媒の反応時間・温度等の最適化検討及び溶媒投入前の選別・洗浄といった処理の組み合わせの必要性を検討する。

本実証事業では、各選別対象のサンプルを用意し、アースリサイクル社が有する電気加熱式小型炉を使い、繰り返し試験及び回収物の成分把握（分析）により、反応条件の最適化を検討する。

3.1.2. 複合材分離設備の商用化に関する検討（事業2）

現在は容量 50L の電気加熱式小型炉にバッチで選別対象を投入している。

事業1の検討と併せて、処理炉の容量大型化、連続処理といった選別工程の効率化に向けた設備機構の設計が必要である。

本実証事業では、アースリサイクル社及び湿式選別プラントの設計経験を有する企業と共に現在の電気加熱式小型炉のカスタマイズ設計を行う。

3.1.3. 分離物の高付加価値な利用先に関する検討（事業3）

回収された樹脂等の品目ごとに出口の検討が必要であり、そのためには回収物の成分を把握（分析）するとともに、想定する利用先に利用可能か評価してもらうことで、高付加価値な利用先を検討する。下記（1）～（3）にて想定されるものを記載する。

- (1) PP、PE、PS といったオレフィン系プラスチックは混合プラスチックとして固形化された状態で回収される。事前にヒアリングしたところ、レーザーフィルター押出成形機を用いることで、多少の夾雑物が混ざっていてもマテリアルリサイクルできる可能性があることを把握しているため、マテリアルリサイクルを想定する。また、油化原料としても想定する。
- (2) 溶媒に溶出した PET・ウレタン・ナイロンは再生燃料としての用途を想定しているため、利用先の要望に応じた回収・加工方法を検討する必要がある。
- (3) 金属類は再選別の上、マテリアルリサイクルを、土砂・ガラス類、木くずやゴム類は最終処分を想定している。

3.1.4. 複合材分離装置を活用した SR リサイクルの事業化に関する検討（事業4）

事業1～3を通じ明らかにする商用化に関する条件を踏まえ、複合材分離装置を活用した混合プラ・SRの事業計画を策定する。

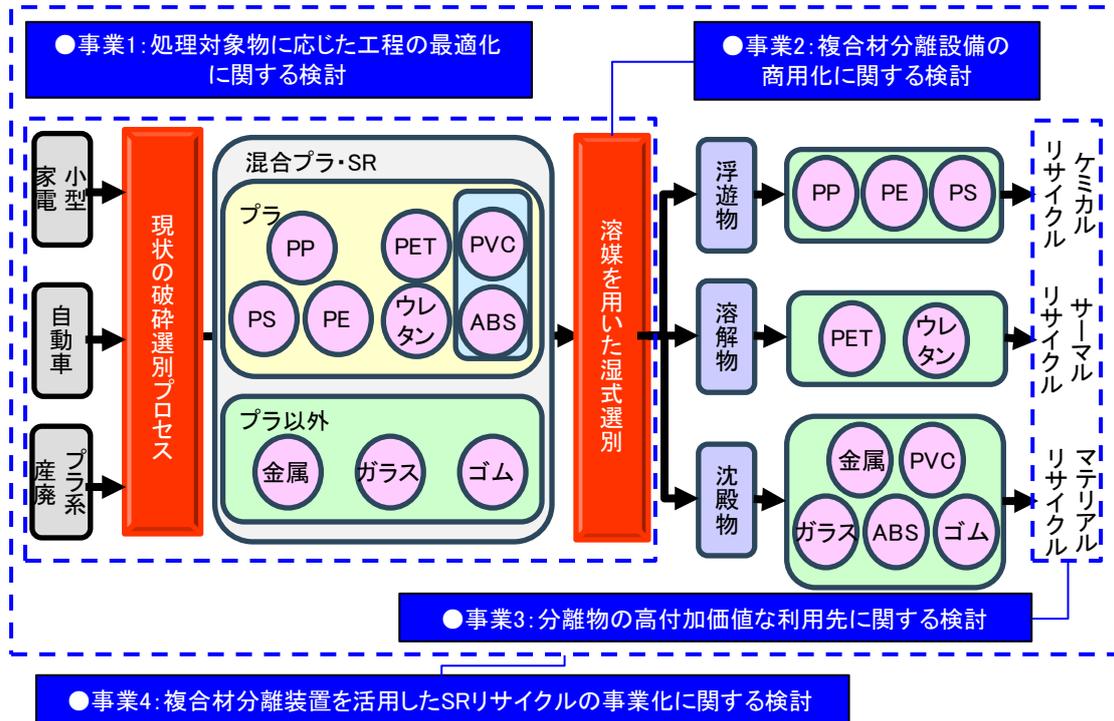


図4 実証事業の概要

3.2. 目標

本実証事業の実施項目毎の最終目標と実施年における目標は表1のとおり設定した。

表1 技術的課題の解決目標

実施項目	最終目標	1年目	2年目	3年目
選別対象物の組成に応じた工程の最適化に関する検討	混合プラ・SRの組成に応じた複合材分離プロセスに最適な運転条件を明確にすること。	混合プラ・SRの複数サンプルに対し、溶媒の反応条件を測定すること(温度、処理時間など)。	グルーピングした混合プラ・SRの複数サンプルに対し、最適な運転条件を明確にすること。	—
複合材分離設備の商用化に関する検討	850kg/h程度の処理能力を有した連続運転炉とすること。	2年目の当社に設置する「省人化・半自動化」実証プラントのカスタマイズ設計を終えること。	省人化・半自動化実証プラントを設置し、処理を通じて連続運転に向けた課題抽出すること。	課題を踏まえて商用規模の連続運転複合材分離装置を設計すること。
分離物の高付加価値な利用先に関する検討	分離した素材の売却条件や再加工方法を明確化し、販売先を明確にすること。	分離したPP・PE・PSを利用先で利用可能か資源性を明らかにすること。	PP・PE・PSの売却条件を明らかにすること。溶解したウレタン・PET等を分離する条件を明確にし、マテリアル・固形燃料としての資源性を明らかにすること。	溶媒からウレタン・PET等を分離回収する分離装置を設計し、回収物の販売先を明確にすること。
複合材分離装置を活用したSRリサイクルの事業化に関する検討	合材分離装置を活用した混合プラ・SRの事業計画を策定すること。	複合材分離装置のコストを算定すること。	回収した資源の売却益を算定し、投資回収できる条件を明らかにすること。	回収した資源の販売戦略や同業他社への普及方法を考え、事業計画を策定すること。

II. 事業実施内容

1. 処理対象物に応じた工程の最適化に関する検討

1.1. 複数の選別対象のサンプル作製

1.1.1. 業務内容

1) 作製対象としたシュレッダーダスト

作製したシュレッダーダストは、以下の6種類とした。

- ① 産廃由来（軽ダスト）
- ② 産廃由来（重ダスト）
- ③ 小電由来（軽ダスト）
- ④ 小電由来（重ダスト）
- ⑤ ASR（軽ダスト）
- ⑥ ASR（重ダスト）

2) 試料作製方法

試料作製方法は、図5のとおりである。

試料作製は、「一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について」（公布日：昭和52年11月04日、環整95号）のごみ質の分析方法「2 試料の調整」を参考に、四分法により数回縮分して試料とした。

なお、上記のシュレッダーダスト1種類につき1つの検体では、実証事業の結果として判断がつかかねるため、シュレッダーダスト1種類につき3つの試料を作製した。

試 料 の 搬 入

↓

試 料 の 均 一 化

↓

試 料 の 縮 分

↓

項 目 別 分 類

- ・調査場所をブルーシートにて養生し、フレコンバックに梱包された試料をブルーシート上に降ろした。

- ・本調査の試料は破砕物であり、フレコンバックから試料を降ろした時点でほぼ試料は均一化されていたが、偏りが無いようにするため、全体を混合させた。

- ・試料を四分法で縮分した。
- ・最後に残った4つの試料のうち、3つを組成分類用試料とした。
- ・1試料につき約3kg～約10kgになるようにした。

<四分法 下記を繰り返す>

捨てる		→		捨てる
	捨てる		捨てる	

- ・分類は、表2の項目別分類に従い分類した。
- ・分類後に、それぞれの項目の重量を測定した。

図5 試料採取フロー

3) 組成分類項目

試料の組成分類は表 2 のとおり定義し行った。

表 2 分類項目

大分類	備考
金属	保護被覆がついた銅線は、金属とした。
硬質プラスチック	キャッシュカードより厚く、曲げたら割れたり、割れなくても折り曲げられないようなものを硬質プラスチックとした。
軟質プラスチック	キャッシュカードより薄く、手で曲げられるものを軟質プラスチックとした。
ウレタン	プラスチックが付着している場合は、切り離してウレタンのみとするようにした。
その他 (10mm 以上)	金属、硬質プラスチック、軟質プラスチック、ウレタンを除いた残りを、網目 10mm の篩の上にかき、篩上に残ったもの。
その他 (10mm 以下)	金属、硬質プラスチック、軟質プラスチック、ウレタンを除いた残りを、網目 10mm の篩の上にかき、網目を通過したもの。

1.1.2. 作製した試料の性状等

1) 各試料の組成

各試料の組成は表 3 に、特徴は表 4 に示す。

表 3 試料の組成

サンプル名称		縮分前重量 (kg)	サンプル (kg)	組成 (kg)					
由来	ダスト			金属類	プラ硬質	プラ軟質	ウレタン	土砂がら、木くず等	10 mm 篩下
産廃由来	軽 1	249	3.20	0.04	0.26	0.13	0.02	1.06	1.69
			含有率	1.3%	8.1%	4.1%	0.6%	33.1%	52.8%
	軽 2		3.10	0.06	0.35	0.22	0.01	0.98	1.48
			含有率	1.9%	11.3%	7.1%	0.3%	31.6%	47.7%
	軽 3		3.21	0.06	0.31	0.16	0.03	1.01	1.64
			含有率	1.9%	9.7%	5.0%	0.9%	31.5%	51.1%
重 1	607	10.12	0.52	1.43	0.06	0.01	5.86	2.24	
		含有率	5.1%	14.1%	0.6%	0.1%	57.9%	22.1%	

	重 2		10.56	0.78	1.40	0.03	0.03	6.32	2.00	
			含有率	7.4%	13.3%	0.3%	0.3%	59.8%	18.9%	
	重 3		10.39	0.72	1.57	0.04	0.02	6.25	1.79	
			含有率	6.9%	15.1%	0.4%	0.2%	60.2%	17.2%	
小電由来	軽 1	342.5	5.12	0.21	2.72	0.09	0.05	0.18	1.87	
			含有率	4.1%	53.1%	1.8%	1.0%	3.5%	36.5%	
	軽 2		5.12	0.28	2.72	0.15	0.02	0.3	1.65	
			含有率	5.5%	53.1%	2.9%	0.4%	5.9%	32.2%	
	軽 3		5.37	0.87	2.49	0.09	0.07	0.28	1.57	
			含有率	16.2%	46.4%	1.7%	1.3%	5.2%	29.2%	
	重 1		203	5.61	0.34	3.88	0.09	0.02	0.79	0.49
				含有率	6.1%	69.2%	1.6%	0.4%	14.1%	8.7%
	重 2			5.86	0.37	4.42	0.05	0.02	0.61	0.39
				含有率	6.3%	75.4%	0.9%	0.3%	10.4%	6.7%
	重 3			5.85	0.28	4.27	0.06	0.02	0.86	0.36
				含有率	4.8%	73.0%	1.0%	0.3%	14.7%	6.2%
A S R	軽 1	145		3.05	0.09	1.55	0.19	0.26	0.62	0.34
				含有率	3.0%	50.8%	6.2%	8.5%	20.3%	11.1%
	軽 2			2.96	0.04	1.10	0.26	0.26	0.68	0.62
				含有率	1.4%	37.2%	8.8%	8.8%	23.0%	20.9%
	軽 3			3.07	0.05	1.30	0.14	0.32	0.69	0.57
				含有率	2.0%	42.0%	5.0%	10.0%	22.0%	19.0%
	重 1		63	6.32	0.79	2.71	0.34	0.04	2.42	0.02
				含有率	13.0%	43.0%	5.0%	1.0%	38.0%	0.0%
	重 2			5.22	0.54	2.12	0.25	0.11	2.18	0.02
				含有率	10.0%	41.0%	5.0%	2.0%	42.0%	0.0%
	重 3			6.37	0.84	2.47	0.35	0.05	2.63	0.03
				含有率	13.0%	39.0%	5.0%	1.0%	41.0%	0.0%

表4 試料の特徴

<p>産廃由来 (軽ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に破砕物の粒径が小さかった。 ・試料のほとんどがその他に分類され、篩の網目を通過したものが、試料総重量の約50%であった。 ・その他で篩上に残ったものは、木くず、ゴム質のもの、紙等が見られた。
<p>産廃由来 (重ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に破砕物の粒径が小さかった。 ・産廃(軽ダスト)と同様に、試料のほとんどがその他に分類されたが、篩上に残ったものが試料総重量の約50%であった。 ・その他で篩上に残ったものは、木くず、ゴム質のもの、紙等が見られた。
<p>小電由来 (軽ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・金属は、導線が多かった。 ・硬質プラスチックが多く、重量は試料総重量の約50%であった。 ・その他は、篩の網目を通過したものが多く、試料総重量の約30%であり、硬質プラスチックの細かい破砕物が確認された。
<p>小電由来 (重ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・金属は導線が多かった。 ・小型家電(軽ダスト)に比べて、硬質プラスチックがさらに多く、重量は試料総重量の約70%であった。 ・その他の篩上に残ったものは、ゴム、紙、木くず等であった。
<p>ASR (軽ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に破砕物の粒径が大きかった。 ・他サンプルに比べウレタンの比率が多かった。 ・その他の重量は試料総重量の約40%であり、篩上に残ったものと網目を通過したものは、概ね20%程度と同程度の重量比率であった。 ・篩上に残ったものは、ゴム質のものが多かった。
<p>ASR (重ダスト)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・全体的に破砕物の粒径が大きかった。 ・ASR(軽ダスト)と比べると、ウレタンは極めて少なかった。 ・その他の重量はASR(軽ダスト)と同様に試料総重量の約40%であったが、篩の網目を通過したものはほとんどなかった。 ・篩上に残ったものは、ゴム質のものが多かった。

1.2. 分離試験の実施によるサンプルごとの反応時間・温度帯の最適化の検討

1.2.1. 分離試験の反応条件

分離試験は6検体毎に2回に分けて実施した。1回目は本実証事業に入るにあたり事前に実施した特許条件に基づく反応条件で行い、2回目は1回目の結果を踏まえ、分離槽での滞留時間を短縮した条件で行った。分離試験は表5に示す条件で実施した。

表5 分離試験における反応条件

回数	分離試験の対象物	重量 (g)	反応温度 (°C)	反応時間 (分)	分離槽滞留時間 (分)	抜き出し温度 (°C)	溶媒重量 (kg)
1回目	産廃由来(軽)①	3,210	220~237	30	60	-	17.5
	産廃由来(重)①	10,120	226~230	30	60	-	32.0
	小電由来(軽)①	5,120	220~230	30	60	-	20.0
	小電由来(重)①	5,610	220~230	30	60	-	19.5
	ASR(軽)①	3,020	220~230	30	60	-	19.0
	ASR(重)①	6,320	220~230	30	60	-	19.0
2回目	産廃由来(軽)②	3,000	220~230	30	30	174	19.5
	産廃由来(重)②	8,640	226~230	30	30	156	19.5
	小電由来(軽)②	4,980	220~230	30	30	180	19.5
	小電由来(重)②	5,120	220~230	30	30	183	19.5
	ASR(軽)②	3,200	220~230	30	30	176	19.5
	ASR(重)②	5,120	220~230	30	30	183	19.5

1.2.2. 分離試験による回収物の状況

本分離試験のプロセスを図6に示す。

溶解槽の溶媒にトリエチレングリコール（以下「TEG」という。）を用いることで、PETやウレタン、ナイロン、ABSを溶解させることが可能となり、一般的な重液を使った比重選別に比べるとオレフィン系プラスチック類の効率的な分離回収が期待できる。

分離試験の結果は表6に、回収物（浮遊物及び溶解物、沈殿物）の状況は以下に示す。

産廃由来軽ダストで浮遊物のうち比重1の水に浮上したもの（以下「浮上物」という。）が13~22%、沈殿物が31~49%、溶解物が26~54%回収され、小電由来軽ダストでは、浮上物が12~14%、沈殿物が42~54%、溶解物が9~11%、ASR軽ダストでは、浮上物が36~43%、沈降物が21~29%、溶解物が14~16%、産廃由来重ダストでは、浮上物が13~19%、沈殿物が61~67%、溶解物が9~26%、小電由来重ダストでは、浮上物が10~11%、

沈殿物が 49～50%、溶解物が 5～8%、ASR 重ダストでは、浮上物が 3～2%、沈殿物が 54～65%、溶解物が 19～35%回収された。

軽ダストと重ダストを比較すると、浮上物については、産廃由来と小電由来は大きな差異は見られないが、ASR に関しては、軽ダストの方が重ダストに比べて 12～21.5 倍程回収率は高くなっていた。また、沈殿物については、小電由来は大きな差異は見られないが、産廃由来と ASR は重ダストの方が回収率は高くなっている。

資源性の観点から見てみると、最もプラスチック回収が期待できるのは ASR 軽ダストで、金属類の回収が最も期待できるのは産廃由来重ダストであった。

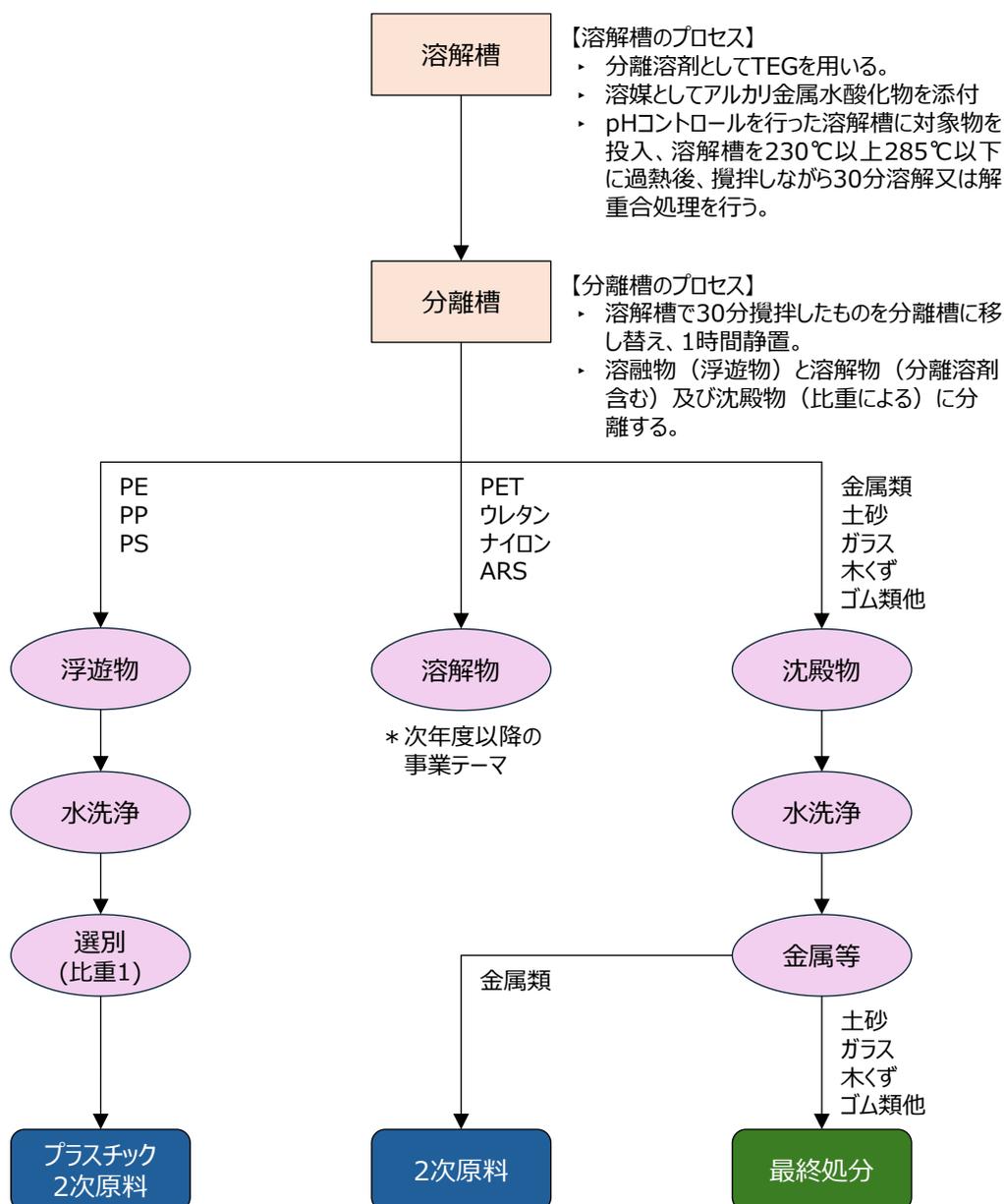


図 6 分離実験のプロセス

表6 分離試験の結果

サンプル名称	重量 (g)					回収率 (%)			
	サン プル	浮遊物		沈 殿 物	溶 解 物	浮遊物		沈 殿 物	溶 解 物
		浮上 物	沈下 物*			浮 上 物	沈 下 物		
産廃由来(軽)①	2,660	340	60	835	1,425	13	2	31	54
産廃由来(重)①	9,340	1,200	10	5,737	2,393	13	0	61	26
小電由来(軽)①	5,000	680	1,160	2,689	471	14	23	54	9
小電由来(重)①	5,520	540	2,040	2,680	260	10	37	49	5
ASR(軽)①	2,980	1,280	660	624	416	43	22	21	14
ASR(重)①	6,160	120	540	3,315	2,185	2	9	54	35
産廃由来(軽)②	3,000	660	100	1,465	775	22	3	49	26
産廃由来(重)②	8,640	1,600	500	5,764	777	19	6	67	9
小電由来(軽)②	4,980	600	1,760	2,091	529	12	35	42	11
小電由来(重)②	5,120	580	1,576	2,580	384	11	31	50	8
ASR(軽)②	3,200	1,162	598	936	504	36	19	29	16
ASR(重)②	5,120	153	667	3,305	995	3	13	65	19

注) ※以下、比重1の水に沈んだプラスチック類を「沈下物」という。

以下、分離試験における回収物の回収状況である。

(1)産廃由来(軽ダスト)①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	400	1425	835
回収比率 %	15.0	53.6	31.4

(2)産廃由来（重ダスト）①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	1210	2393	5737
回収比率 %	13.0	25.6	61.4

(3)小電由来（軽ダスト）①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	1840	471	2689
回収比率 %	36.8	9.4	53.8

(4)小電由来（重ダスト）①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	2580	260	2680
回収比率 %	46.7	4.7	48.6

(5)ASR（軽ダスト）①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	1940	416	624
回収比率 %	65.1	14.0	20.9

(6)ASR（重ダスト）①

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	660	2185	3315
回収比率 %	10.7	35.5	53.8

(7)産廃由来（軽ダスト）②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	760	775	1465
回収比率 %	25.3	25.8	48.8

(8)産廃由来（重ダスト）②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	2100	777	5764
回収比率 %	24.3	9.0	66.7

(9)小電由来（軽ダスト）②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	2360	529	2091
回収比率 %	47.4	10.6	42.0

(10)小電由来（重ダスト）②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	2156	384	2580
回収比率 %	42.1	7.5	50.4

(11)ASR (軽ダスト) ②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	1760	504	936
回収比率 %	55.0	15.8	29.3

(12)ASR (重ダスト) ②

項目	浮遊物	溶解物	沈殿物
回収物の写真			
回収量 g	2100	777	5664
回収比率 %	24.3	9.0	66.7

回収物の浮遊物について見てみると、一般的な重液比重選別ではプラスチックの種類毎に分離回収されるので後工程を工夫すれば単体のプラスチックとして資源化も可能となるが、溶媒を使用した本実証の分離技術では、混合プラスチックとして回収されるため、後工程での単体分離は不可能となる。

また、一般的な重液比重選別の方法でも回収したものをマテリアル資源として供給するためには、付着した塩分等を洗浄する工程が必須となるが、本実証の溶媒を使用した分離技術も同様に、付着した溶剤を洗浄する工程が必須となる。溶剤の再生利用を踏まえたクローズドシステムの検討が必要である。

1.2.3. 分離試験による回収物のまとめ

分離試験により得られた回収物について、その回収率（回収物合計重量に対するそれぞれの重量比）を図7に示す。

分離試験は各発生由来別のサンプルを用いて2回実施した。

小電由来の軽ダストと重ダスト及びASRの軽ダストは、2回とも同じような回収率を示していたが、産廃由来の軽ダストと重ダストについては回収率に差異が認められた。産廃由来は組成が大きく変化することが分離試験の結果からも推察された。

回収率の傾向としては産廃由来の重ダスト以外は同じような傾向を示していた。特に、小電由来の軽ダストと重ダスト及びASRの軽ダストは同傾向を示していた。また、ASRの軽ダストは、浮上物の回収率がいずれも35%以上と高く、オレフィン系プラスチックが多く含まれている可能性が高いことが確認された。

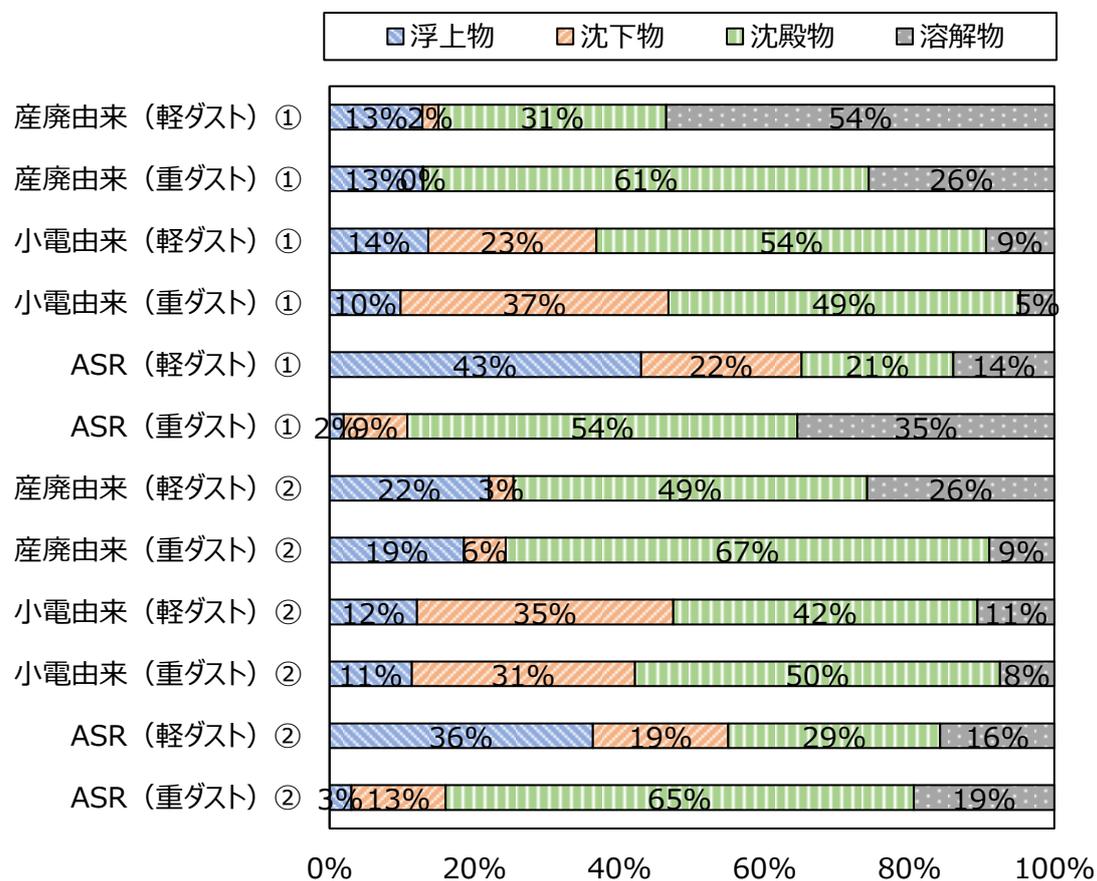


図7 分離試験による収率一覧

1.2.4. 反応時間・温度帯の最適化の検討

1回目の分離試験で、浮遊物に細かな木くずや夾雑物が巻き込まれていることが確認された。その原因として、分離槽に移行した段階で急激に温度が下がり反応時間を長くすることで、逆にプラスチック類の凝固反応が進み、金属類やゴム類、土砂ガラスや、木くずなどの自然沈降を妨げているのではないかと考えられた。そこで2回目の分離試験では、分離槽での反応時間を半分の30分に変更し試験を実施した。

結果的には分離槽での反応時間を短縮しても回収率の改善は見受けられなかった。溶解槽での温度帯や反応時間等の検討が必要であることが分かってきた。

2. 複合材分離設備の商用化に関する検討

2.1. カスタマイズ設計の視点

分離試験の結果、浮遊物の中に微細な木くずや金属くず、ゴムくずなどが巻き込まれていることが確認されるとともに、沈殿物の金属類に溶解したと思われるプラスチックが薄くコーティングされていることが確認された。

カスタマイズ設計にあたっては、上述した分離試験で明らかとなった課題の改善を目的に、現プロセスでの改良点を整理し行なった。

現プロセスで考えられる主な改良点を図8に示す。

なお、カスタマイズ設計には、将来の社会実装を鑑み、溶媒の回収と溶媒の再生利用を行う設備を追加した。

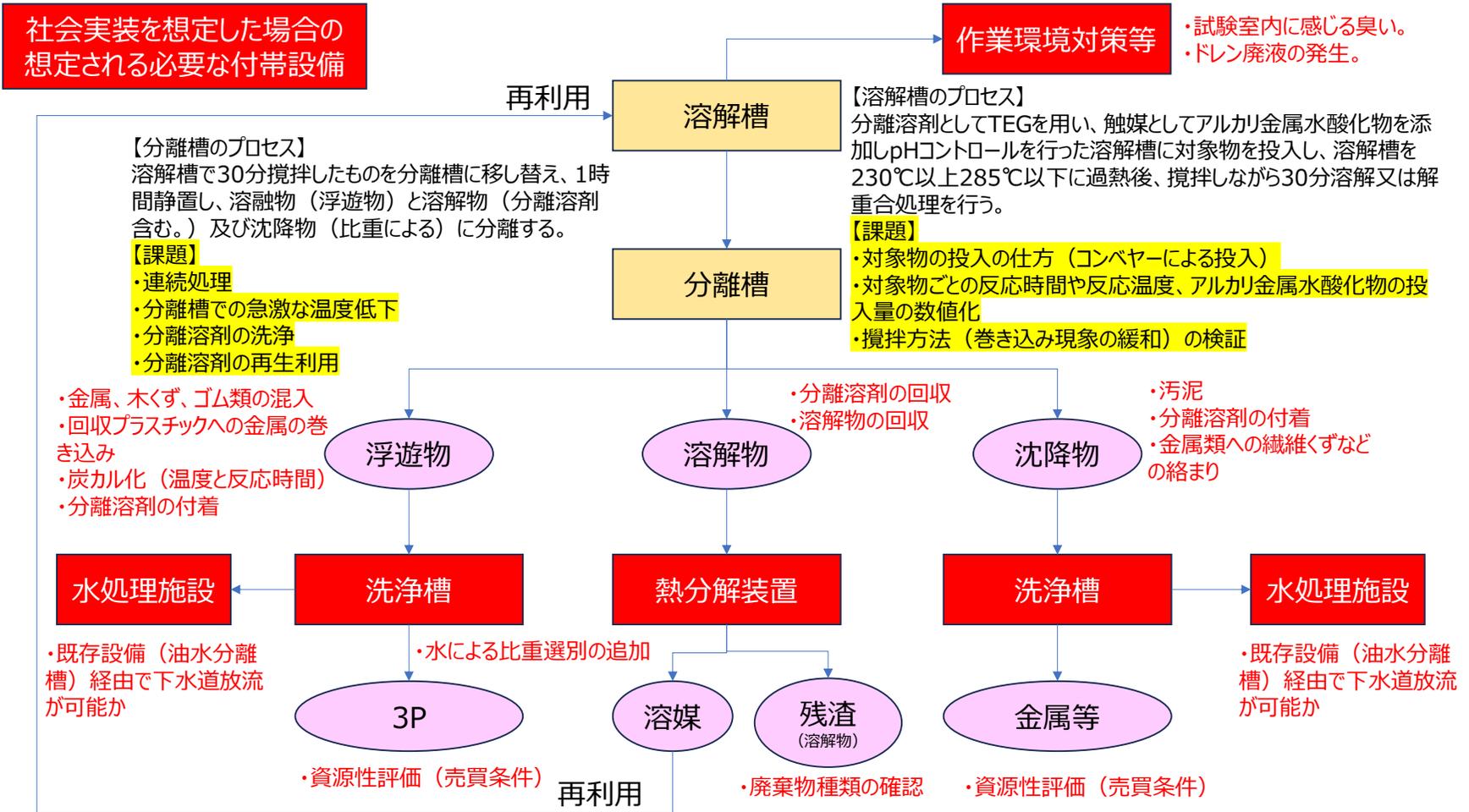


図8 分離試験結果から考えられる現プロセスフローの課題

2.2. カスタマイズ設計

カスタマイズ設計図を図9に示す。

カスタマイズ設計の設備を導入するために必要な敷地面積は概ね $4\text{m} \times 4\text{m} = 16\text{m}^2$ となる。

また、表7に改良点のカスタマイズ設計への反映を記載する。

表7 改良点のカスタマイズ設計への反映箇所

項目	課題・検討内容	カスタマイズ設計への反映箇所
溶解槽	連続投入が出来るよう、分離溶媒を温めておくための余熱槽の設置や第2溶解槽など設置を検討	V-2 から R-1 へ分離剤を移送
	母材の投入を巡回コンベヤで行えるように投入口並びアプローチの仕方の検討	A-1 の導入
	蓋の開閉を油圧で行えるように検討	R-1 槽底エアバブル開閉
分解槽	容器の形状を横長型に変更	V-1 に傾斜を持たせて施工
	分離溶媒の排出口の位置及び大きさの検討	V-1 に傾斜を持たせて施工
	浮遊物の回収方法の検討	・ 容器を傾けるなどによる効率的回収方法の検討 ・ VAC-1 の設置による分離剤の回収
	沈降物の取出口の大きさ等の検討	R-1 槽底エアバブル開閉
その他	分離溶媒の再利用を目的とした熱分解装置の導入	VAC-1 と EH-3 の導入
	回収物から付着した分離溶媒を洗浄するための装置の導入	VAC-1 と V-5 の導入

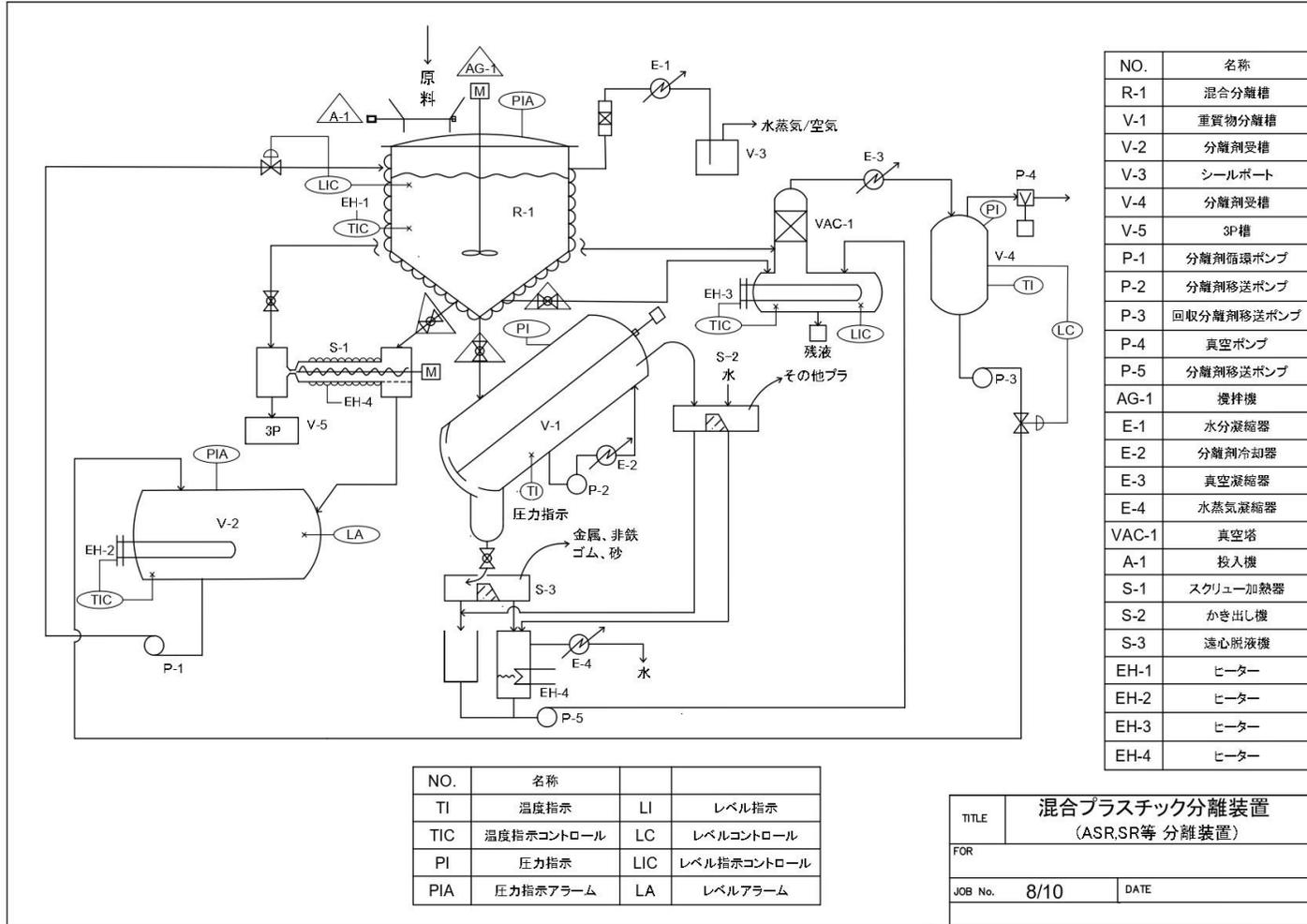


図9 カスタマイズ設計図

3. 分離物の高付加価値な利用先に関する検討

3.1. 浮遊物のマテリアルリサイクルとしての利用検討

3.1.1. マテリアルリサイクル企業での評価

複合材分離装置で回収された浮遊物について、マテリアルリサイクルを実施している企業での評価を行った。以下に、評価結果を記載する。

1) 検証方法

検証方法は下記のとおりである。実際に使用材料を押し出し成形機を使い、加工試験を実施した。加工試験の様子は図 10 に示す。

① 使用材料

産廃由来及び小型家電由来 2.04kg、ASR0.88kg

② 手順

① の使用材料をそれぞれプリブレンド後、短軸押し出し機にて押し出し加工を実施した。

③ 加工条件

使用押し出し機：ナカタニ機械(株)製 VSK-50 50m/m 単軸式1ベント押し出し機

押し出し加工条件：表 8 に示す。

表 8 マテリアルリサイクル企業による押し出し加工条件

	C1	C2	C3	C4	C5	D	スクリー回転数 (rpm)
設定(°C)	200	200	200	200	200	200	98

(スタート時スクリーンサイズ 40/60/40)



図 10 押出成形機での成形の様子

2) 加工評価

① 産廃由来+小電由来

押出成形機での加工開始すぐに、目詰まりが発生したことで、加工が継続できなかった。また、ベントロから発生するガス分がかなり多く加工を行うには危険な状態であった。図 13 のとおり、ペレットとしての形状を維持できなかった。

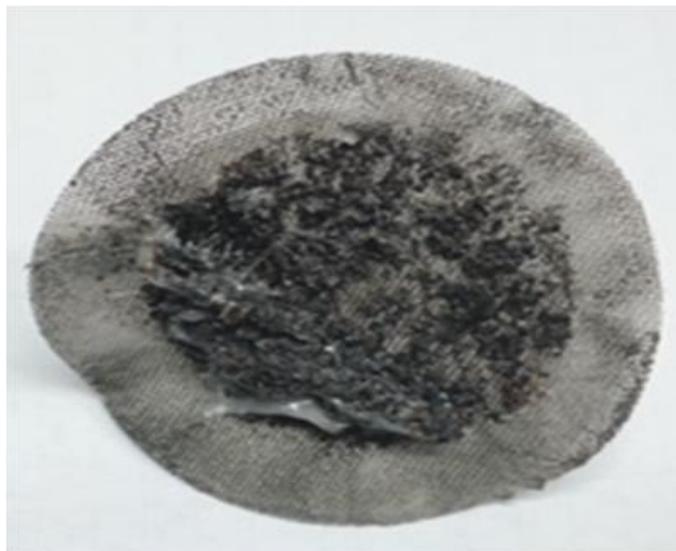


図 11 加工の際に使用したスクリーン 40/60/40(左)に目詰まりした異物



図 12 ベントアップした樹脂



図 13 押出成形機で加工されたペレット

② ASR+産廃由来+小電由来

ASR の数量が少なかったため、産廃由来+小電由来と一緒にプリブレンドして加工を行った。押出成形機での加工開始すぐに、目詰まりが発生したことで、加工が継続できなかった。また、ベント口から発生するガス分がかなり多く加工を行うには危険な状態であった。図 16 のとおり、ペレットとしての形状を維持できなかった。



図 14 加工の際に使用したスクリーン 20 に目詰まりした異物



図 15 ベントアップした樹脂



図 16 押出成形機で加工されたペレット

3) 分析評価

スクリーンに目詰まりした異物（図 11、図 14）を対象に、フーリエ変換赤外分光法（FT-IR）分析を実施した。分析の結果、ゴム、木片が検出され、その際、溶媒として使用しているエチレングリコール系溶媒と思われるピークも同時に検出された。

4) まとめ

今回の試験では主にゴムが加工の妨げになっていたと推定される。また、加工時に発生したガス分には水蒸気だけでなくエチレングリコール系溶媒が含まれており、加工中にガス化することで異臭・加工不良につながった可能性がある。

3.1.2. ケミカル分析の結果

複合材分離装置で回収された浮遊物について、マテリアルリサイクルするうえで課題となる成分が含まれていないかを確認するため、ケミカル分析を実施した。以下に、評価結果を記載する（詳細は資料編参照）。

1) 試料

試料は以下の6検体である。

- ① 産廃由来軽ダスト浮遊物
- ② 産廃由来重ダスト浮遊物
- ③ 小電由来軽ダスト浮遊物
- ④ 小電由来重ダスト浮遊物
- ⑤ ASR 軽ダスト浮遊物
- ⑥ ASR 重ダスト浮遊物

2) 方法

試料全量(約 15g)を、冷凍粉碎で均一化处理を実施した(粗粉碎/15g ずつ全量)。その後、さらに細かく均一にするため、粗粉碎した数 g を再度冷凍粉碎した(細粉碎/1g ずつ計 4g)。産廃由来重ダスト浮遊物に含まれていた 1.5cm 大の硬い塊は、粗粉碎で粉碎されなかった。そのみを取り出し、刃物で少しずつ削ったが、全量削ることができず一部取り除いた(石のような硬さ、約 0.5g)。同様に、小電由来重ダスト浮遊物に含まれていた 5mm 台の硬い塊 2 個も粉碎されず、取り除いた。ASR 重ダスト浮遊物に含まれていた 2cm×1cm 大のクリーム色のいびつ形状のものについても、粗粉碎で粉碎されなかった。そのみを取り出し、刃物で細かく切断後粉碎し、粗粉碎と混ぜて均一にした。

3) 結果

冷凍粉碎後の資料を用いて、XRF(蛍光 X 線分析)、FT-IR(フーリエ変換赤外分光法)、NMR(Nuclear Magnetic Resonance、核磁気共鳴)分析を実施した。その結果を表 9 に示す。(各分析の詳細については資料編「IV. ケミカル分析関係」を参照)

マテリアルリサイクルの結果を裏付けるように、FT-IR 分析の結果では推定される樹脂として PE、PP とスチレン系ポリマー由来と推定されるモノ置換ベンゼン環が確認され、無機分としてはタルクや触媒に使用した TEG が確認された。

XRF 分析の結果では塩素やシリコン、カルシウム等が顕著に確認された。

NMR 分析の結果では FT-IR 分析の結果を裏付けるように PP と PE がそれぞれ 31~50%、10~20%となっており、不溶解成分が 22~48%となっていた。

表9 ケミカル分析試験結果

分析名	検出成分	検体名 (回収された浮遊物)						
		産廃由来		小電由来		ASR		
		軽	重	軽	重	軽	重	
FT-IR	樹脂分	PP	○	○	○	○	○	○
		PE	○	○	○	○	○	○
		モノ置換ベンゼン環	○	○	○	○	○	○
	無機分・その他	タルク	○	○	○	○	○	○
		炭酸カルシウム	○	○	○	○	○	○
		エステル	○	○	○	○	○	○
		アミド		○	○	○	○	○
TEG	○	○	○	○	○	○		
XRF ※1)	検出された 注意元素 1000ppm以上	Mg	○	○	○	○	○	○
		Al	○				○	○
		Si	○	○	○	○	○	○
		S			○			
		Cl	○	○	○	○	○	○
		Ca	○	○	○	○	○	○
		Ti	○	○	○	○	○	○
		Fe	○	○	○	○	○	○
		Ba			○	○		○
		Pb		○				
NMR ※1)、※2)	PP	39%	31%	50%	47%	47%	48%	
	PE	20%	10%	13%	19%	19%	16%	
	PVC	2%	3%	3%	4%	4%	2%	
	St ユニット	10%	8%	11%	1%	1%	1%	
	不溶解成分	27%	48%	22%	29%	29%	33%	

XRF ※1) 1000ppm以上の含有を注意元素とした

NMR ※1) 値は各成分値の小数点以下を四捨五入した結果を記載。

※2) 3.0~4.5ppm領域をPVC由来と仮定して求めた数値

3.2. 浮遊物のケミカルリサイクル（油化原料）としての利用検討

3.2.1. 油化事業に取り組んでいる企業での評価

複合材分離装置で回収された浮遊物について油化事業に取り組んでいる企業での評価を行った。評価は3企業に依頼し、以下に各社の評価結果を記載する。

3.2.2. A社での評価（オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験）

1) 実験装置概略

オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験装置の概略図を図17に示す。また、実験装置の外観写真を図18及び図19に示す。

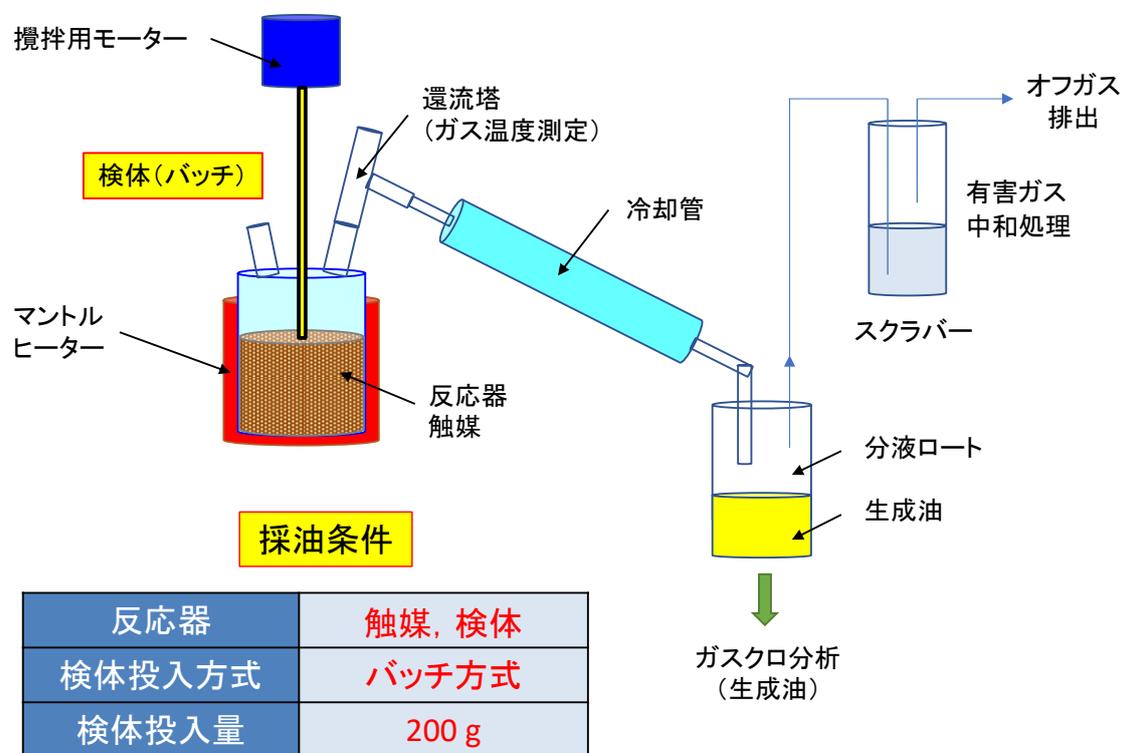


図17 オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験装置概略

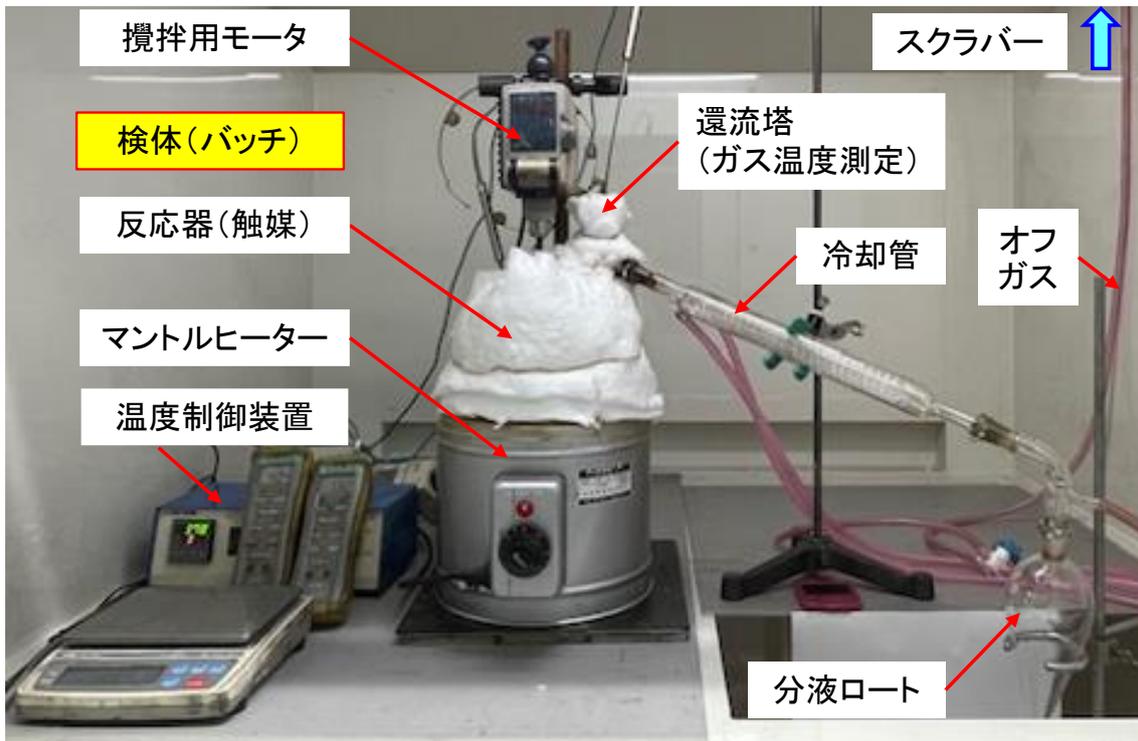
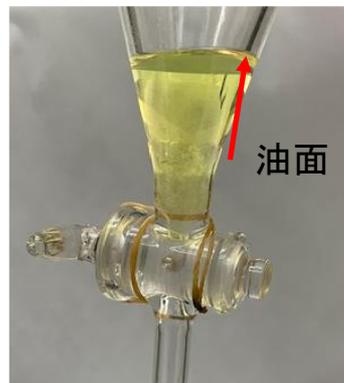


図 18 オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験装置外観



(a) 反応器内 (バッチ: 検体充填)



(b) 分液ロート (生成油)

図 19 オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験装置の各部拡大写真

2) 検体外観



(a) 試供時の外観



(b) 油化用 (約 5mm 幅に細断)

図 20 産廃由来検体外観



(a) 試供時の外観



(b) 油化用 (約 5mm 幅に細断)

図 21 小電由来検体外観



(a) 試供時の外観

(b) 油化用 (約 5mm 幅に細断)

図 22 ASR 検体外観

3) 物質収支 (マテリアルバランス) の定義

本実験において、検体投入量は(1)生成油量及び(2)反応器内残渣量、(3)オフガス量の和であり、それぞれ以下で定義する。

- (1) 生成油収率 = (生成油量 ; 水分含む / 検体投入量) × 100
- (2) 残渣率 = (反応器内残渣量 ; 触媒等を除く / 検体投入量) × 100
- (3) オフガス量率 (推計) = 100 - (生成油収率 + 残渣率)

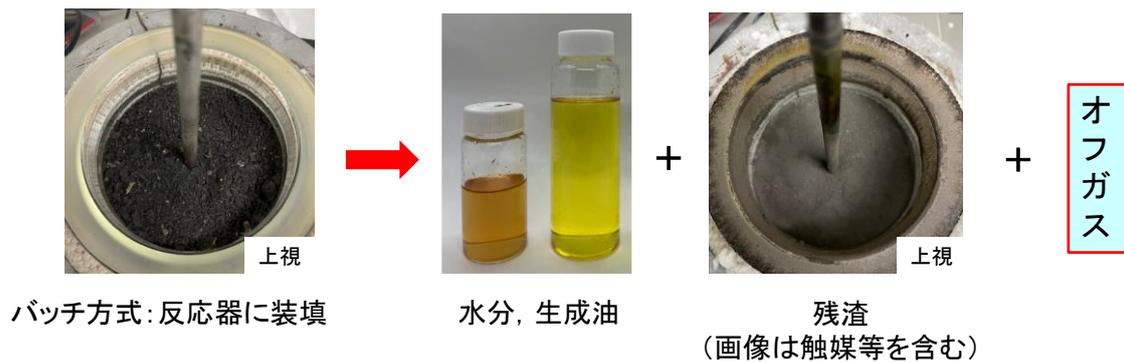


図 23 オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験における生成物

4) 実験結果

(1) マテリアルバランス

産廃由来及び小電由来、ASR の本実験によるマテリアルバランスを表 10 から表 12 に示す。

生成油収率（油分）は産廃由来が 40 %台であり、小電由来と ASR が 70 %前後、残渣率については産廃由来がやや高く 10 %台であり、小電由来と ASR は低く数 %台となった。

表 10 実験後の産廃由来のマテリアルバランス

			1 回目	2 回目	算術平均
生成油外観 (左：水分，右：生成油)					-
生成油収率	油分	[wt・%]	40.2	40.6	40.4
	油分+水分	[wt・%]	76.9	77.1	77.0
	水分	[wt・%]	36.7	36.5	36.6
残渣率		[wt・%]	[wt・%]	12.7	13.3
(オフガス量率)		[wt・%]	[wt・%]	(10.3)	(9.8)

表 11 実験後の小電由来のマテリアルバランス

			1 回目
生成油外観 (左：水分，右：生成油)			
生成油収率	油分	[wt・%]	70.6
	油分+水分	[wt・%]	83.9
	水分	[wt・%]	13.6
残渣率		[wt・%]	[wt・%]
(オフガス量率)		[wt・%]	[wt・%]

表 12 実験後の ASR のマテリアルバランス

			1 回目	2 回目	算術平均
生成油外観 (左：水分，右：生成油)					-
生成油収率	油分	[wt・%]	65.5	65.1	65.3
	油分+水分	[wt・%]	80.4	78.9	79.6
	水分	[wt・%]	14.9	13.8	14.4
残渣率		[wt・%]	[wt・%]	9.0	9.5
(オフガス量率)		[wt・%]	[wt・%]	(12.2)	(10.9)

(2) オフガス濃度

オフガス濃度の測定結果を表 13 に示す。

ここで、オフガスの測定条件は反応器内部温度：約 370 °C，約 400 °C，約 420 °C の 3 パターン、ガス温度条件は 80 °C 台～170 °C 台である。

表 13 オフガス濃度測定結果

項目		産廃由来		小電由来	ASR	
		1 回目	2 回目	1 回目	1 回目	2 回目
塩化水素 (HCl) 濃度	[ppm]	300	50	6	20	20
		600	1,000	8	50	20
		> 1,200	1,200	6	50	12
*シアン化水素 (HCN) 濃度	[ppm]	5	10	30	10	2
		70	138	70	10	5
		92	138	156	10	5

*安全基準濃度 5ppm 未満

(3) GC-FID (ガスクロマトグラフィー水素炎イオン化検出器) によるクロマトグラム

GC-FID による検出結果を図 24 に示す。

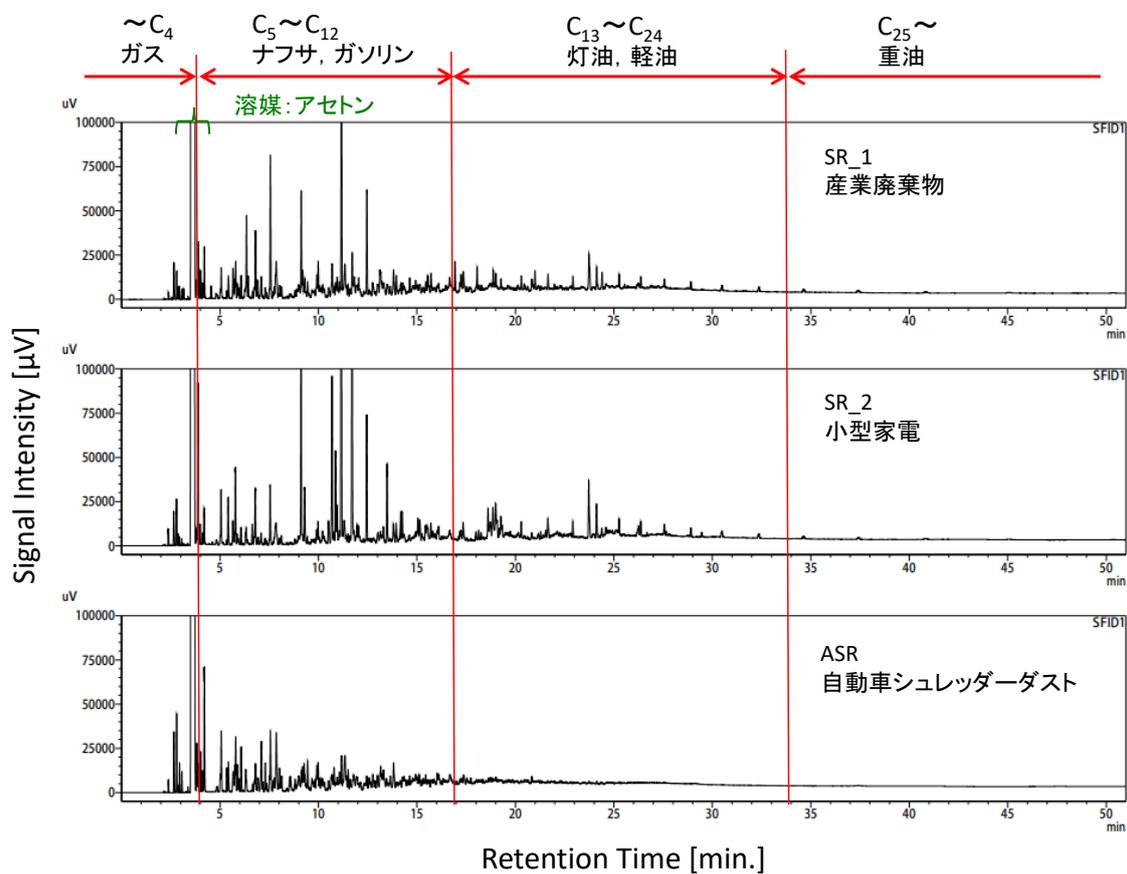


図 24 GC-FID による検出結果

(4) 生成油の留分

生成油の留分について、計測結果を表 14 に示す。

低沸点留分 (ナフサ、ガソリン留分) の割合は全検体とも 70 %前後であり比較的高く、特に ASR は 80 %弱となっている。

表 14 生成物の留分計測結果

炭素数	留分 [wt・%]	産廃 由来			小型 由来	ASR		
		1 回目	2 回目	算術 平均	1 回目	1 回目	2 回目	算術 平均
～C ₄	ガス	1.1	1.1	1.1	1.4	2.8	3.2	3.0
C ₅ ～C ₁₂	ナフサ, ガソリン	65.5	64.5	65.0	66.9	73.7	80.0	76.8
C ₁₃ ～C ₂₄	灯油, 軽油	33.4	34.4	33.9	31.7	23.5	16.7	20.1
C ₂₅ ～	重油	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

(5) 総評

オレフィン系混合プラスチックのラボ油化実験を実施した結果、以下の所見が得られた。

(1) マテリアルバランス

- ① 生成油収率（油分）は産廃由来が 40 %台であり、小電由来と ASR が 70 %前後である。
- ② 残渣率は産廃由来が高く 10 %台であり、小電由来と ASR は数%台と低い。

(2) オフガス濃度

- ① 塩化水素：HCl
全検体とも検知され、特に産廃由来は高く 1,000 ppm 台である。
- ② シアン化水素：HCN
全検体とも検知され、産廃由来及び小電由来は高く 100 ppm 台である。

(3) 留分：生成油の品質

低沸点留分（ナフサ、ガソリン留分）の割合は全検体とも 70 %前後であり比較的高く、特に ASR は 80 %弱であり高い。

(6) 油化原料としての市場性

油化原料としての可能性はあり、逆有償での市場取引は可能と判断する。ただし、この後に水素化処理が必須となることから、逆有償価格は通常の廃プラスチックの処理費よりも高額となる。概算で、前処理 20 円～30 円/kg、油化 50 円～70 円/kg、水素化 30 円～50 円/kg程度は必要と考える。

3.2.3. B社での評価

1) 油化試験の概要

油化試験は熱分解油化試験装置を使用して行った。

試料は、ASR、産廃由来、小電由来のそれぞれの軽ダストと重ダストを混合し、1kgのサンプルを作製し用いた（図25参照）。

油化試験ではサンプル毎に、投入量・生成油量・残渣量を実測し、次の式によりオフガス量を算出した。また、併せて、油化率、残渣率、オフガス率を算出した。

$$\text{オフガス量} = \text{投入量} - (\text{生成油量} + \text{残渣量})$$



(a) 産廃由来



(b) 小電由来



(c) ASR

図25 油化試験にて用いる試料

2) 油化試験の結果

(1) 産廃由来

① 測定データ

投入量【実測値】：1.00kg

生成油量【実測値】：0.33kg

残渣量【実測値】：0.12kg

オフガス量【計算値】：0.55kg

油化率：33%

残渣率：12%

オフガス率：55%

② 生成油

産廃由来の生成油は、粘性が高く常温で固形化するが、熱を加えることにより流動性を保つことができる。粘性度は3試料中で中程度である。色は茶褐色で、3試料のうち中間的な色である。油化率は33%であり、3試料中で最も低い。

③ 残渣

産廃由来の残渣は、3 試料中で比較的大粒径のものが最も多く含まれている。残渣率は 12%であり、3 試料の間である。大粒径のものは、形状や感触からウレタン系の樹脂であると思われる。これらのものが分別されていれば、残渣量は大きく減少すると考えられる。



(a) 生成油

(b) 残渣

図 26 油化試験結果（産廃由来）

(2) 小電由来

① 測定データ

投入量【実測値】：1.00kg

生成油量【実測値】：0.55kg

残渣量【実測値】：0.10kg

オフガス量【計算値】：0.35kg

油 化 率：55%

残 渣 率：10%

オ フ ガ ス 率：35%

② 生成油

小電由来の生成油は、粘性が高く常温で固形化するが、熱を加えることにより流動性を保つことができる。粘性度は 3 試料中で最も低い。色は茶褐色で、3 試料のうち最も色が濃い。油化率は 55%であり、3 試料中で最も高い。

③ 残渣

小電由来の残渣は、大粒径のものと細かいものが混合しており、繊維状のものも見受けられる。残渣率は10%であり、3試料中で最も低い。



図 27 油化試験結果 (小家由来)

(3) ASR

① 測定データ

投入量【実測値】：1.00kg

生成油量【実測値】：0.45kg

残渣量【実測値】：0.14kg

オフガス量【計算値】：0.41kg

油 化 率：45%

残 渣 率：14%

オ フ ガ ス 率：41%

② 生成油

ASRの生成油は、粘性が高く常温で固形化するが、熱を加えることにより流動性を保つことができる。粘性度は3試料中で最も高い。色は茶褐色で、3試料のうち最も色が薄い。油化率は45%であり、3試料の中程度である。

③ 残渣

ASRの残渣は、比較的細かい粒径のものが多く見受けられる。繊維状のものは見受けられない。残渣率は14%であり、3試料中で最も高い。



(a) 生成油



(b) 残渣

図 28 油化試験結果 (ASR)

(4) 総評

① 生成油について

各試料の生成油とも、粘性度や色に若干の差異はあるものの総じて粘性度が高く常温で固化するが、熱を加えることにより流動性を保つことができるため、利用可能な範囲の粘性度であるといえる。

通常、オレフィン系樹脂を処理した生成油であれば、軽油～重油相当の品質となると考えられるが、オレフィン系樹脂以外の異物の混入がどの程度あるのか不明なこと、並びに提供された試料の量が少ないことにより、生成油の品質については明言できない。ある程度の品質を確保することができれば、売却可能になると思われる。

② 油化率について

各試料の生成油とも、油化率が 50%以下であり高いとは言えない値となっている。これは、当該油化設備におけるコンデンサの能力に対し、熱分解ガスが過剰に供給されたため、生成油とならずにオフガスとして排出されたものがあると思われる。

残渣率が 10%台であることから、熱分解ガスをより効率よく油化できれば、油化率はさらに高くなると考えられる。

③ 残渣物について

各試料の残渣とも、不燃物及び炭化物と思われるものが多く、熱分解後の残渣としては比較的良好な性状であると考えられるが、産廃由来の残渣に関しては、ウレタン系の樹脂と思われるものが見受けられたため、これらを事前に選別できればより良いものとなる。

④ 残渣率について

各試料の残渣率とも、10%台と比較的少ない値となっている。前述のとおり、産廃由来に関しては、ウレタン系の樹脂の事前選別が可能であれば、残渣率をさらに低減化することが可能であると考えられる。

(5) 油化原料としての市場性

各試料とも、残渣率が10%台であることから、油化に適したオレフィン系樹脂の選別精度は80%以上ではないかと推測できる。これらの樹脂を効率よく処理することにより、油化率は大きく向上するものとする。

通常、シュレッダーダストは選別や処理が困難な廃棄物であると認識しているが、この度の試料は比較的オレフィン系樹脂をうまく選別していると思われ、油化によるリサイクル可能性は高いと考える。油化原料としての可能性は十分に考えられる。

3.2.4. C社での評価

1) 油化試験の概要

本実験は図29に示す社会実装に向け開発中の熱分解油化試験装置を使用して行った。

試料は、産廃由来、小電由来、ASRのそれぞれの軽ダストと重ダストを混合したサンプルを用いた。油化試験ではサンプル毎に、投入量・生成油量・残渣量を実測するとともに、オフガス量、油化率、残渣率、オフガス率を算出した。



図29 油化試験に使用した開発中の熱分解油化装置

2) 油化試験の結果

(1) 産廃由来

投入量【実測値】：1.10kg

生成油量【実測値】：0.35kg

残渣量【実測値】：0.18kg

オフガス量【計算値】：0.57kg

油化率：31.8%

残渣率：16.4%

オフガス率：51.8%



(a) 生成油



(b) 残渣

図 30 油化試験結果（産廃由来）

(2) 小電由来

投入量【実測値】：3.00kg

生成油量【実測値】：1.45kg

残渣量【実測値】：0.24kg

オフガス量【計算値】：1.31kg

油化率：48.3%

残渣率：8.0%

オフガス率：43.7%



(a) 生成油



(b) 残渣

図 31 油化試験結果 (小電由来)

(3) ASR

投入量【実測値】：1.80kg
 生成油量【実測値】：0.75kg
 残渣量【実測値】：0.26kg
 オフガス量【計算値】：0.79kg
 油 化 率：41.7%
 残 渣 率：14.4%
 オ フ ガ ス 率：43.9%



(a) 生成油



(b) 残渣

図 32 油化試験結果 (ASR)

(4) 総評

① 生成油について

各試料の生成油とも、粘性度が高く常温で固形化してしまうが、加熱することにより流動性を確保することができる。

性状については、詳細な分析を行わなければ確実なことは言えないが、C重油程度の品質が確保できれば、廃油リサイクル業者や石油元売り会社などに売却できるのではないかと考える。

油化率については、産廃由来が31.8%と最も低く、小電由来が48.3%と最も高いが、いずれも50%に達していない。

残渣率が低いことから、多くが計算上オフガスとなっているが、この要因として、熱分解油化設備の規模（処理能力：30 kg/8 時間・バッチ式）に対し投入物量が小さく、熱分解ガスがうまく油化できなかつたことが推測される。

設備の運転条件等を工夫することで、油化率を向上させることができると考えられる。

② 残渣について

残渣の性状は、不燃系のものが多く見受けられるが、産廃由来については油化に不向きなウレタン系と思われる残渣物が確認できた。

残渣率は、小電由来の8.0%から産廃由来の16.4%と比較的低く、オレフィン系樹脂の分別が比較的良好にできていると推察されるが、産廃由来についてはウレタン系樹脂の混入が見受けられるため、分別精度を上げることにより残渣率を下げる事が可能であると考えられる。

③ まとめ

以前、同等の熱分解油化設備にて、分別をしていないシュレッダーダストの油化試験を行った結果、うまく油化できなかつたことを確認している。

シュレッダーダストからオレフィン系の樹脂を分別することにより、油化によるリサイクルの可能性が高まったと考えられる。

設備の改良を行い適正な規模で処理することにより、適正処理が困難なシュレッダーダストのリサイクル事業化も視野に入るのではないかとと思われる。

(5) 油化原料としての市場性

廃油を蒸留して精製する技術を有しており、廃油の精製所の許可を取得している企業に確認したところ、回収された油の成分分析を行っていないので現段階では何とも言えないが、A重油やC重油の再生油としては十分に利活用できるとの評であった。将来的には有価での買取りもあり得るとのことであった。

3.3. 沈殿物のマテリアルリサイクルとしての利用検討

発生由来別の沈殿物をメタルソータで選別した結果を以下に記載する。

沈殿物から回収された非鉄金属類の回収率は、産廃由来で 9.22～19.19%、小電由来で 17.57～18.25%、ASR で 12.0～15.38%で、銅とステンレスが主であった。

参考に、産廃由来重ダストの沈殿物から回収した非鉄金属を手選別し資源性評価を行った結果を表 15 及び図 33 に示す。回収物 1.06 kg に対し、116.24 円の資源性（有価性）が確認された。

(1) 産廃由来軽ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	0.44	1.86
回収比率 %	19.13	

(2) 産廃由来重ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	1.06	10.44
回収比率 %	9.22	

(3) 小電由来軽ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	0.84	3.94
回収比率 %	17.57	

(4) 小電由来重ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	0.96	4.30
回収比率 %	18.25	

(5) ASR 軽ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	0.24	1.32
回収比率 %	15.38	

(6) ASR 重ダスト

項目	メタルソータで選別した非鉄	ダスト
写真		
回収重量 kg	0.80	5.82
回収比率 %	12.08	

表 15 産廃由来重ダスト沈殿物の資源性

非鉄金属	重量 (kg)	単価 (円/kg)	金額 (円)
ステンレス(a)	0.37	180	66.60
真鍮(b)	0.01	700	7.00
銅(c)	0.07	900	63.00
基盤(d)	0.02	100	2.00
アルミニウム (e)	0.01	200	2.00
ダスト(f)	0.58	-42	-24.36
合計	1.06	109.66	116.24



(a) ステンレス



(b) 真鍮



(c) 銅



(d) 基盤



(e) アルミニウム



(f) ダスト

図 33 産廃由来重ダスト沈殿物のメタルソータ選別後の非鉄金属回収物

4. 複合材分離装置を活用した SR リサイクルの事業化に関する検討

4.1. ヒアリングによる混合プラや SR の処理実態の整理

ヒアリングはシュレッダーダストが発生している同業他社 10 社に対し実施した。なお、ヒアリング先は「一般社団法人日本鉄リサイクル工業会」並びに「一般社団法人小型家電リサイクル協会」の会員企業の中から地域性を考慮し選定した。ヒアリング結果は表 16 から表 25 に示す。

自動車リサイクル法の 28 条再資源化施設になっている会社は、自社から発生する ASR 以外のシュレッダーダストも RPF 化等の資源化を行っているため、現状では特に処理には困っていないことが確認された。

シュレッダーダストの資源化に向けた設備投資を考えるうえでの課題としては、「再生プラスチックの市場が確立されていないこと。」、「プラスチックを精度よく選別する技術が未確立であること。」、「現有敷地が狭隘でコンパクトな設備でないと導入が難しいこと。」等が挙げられた。

サーキュラーエコノミー (CE) の社会形成に向け国が進めている技術開発の推進や市場形成への取組等、社会インフラなどの充実が設備導入を促進するうえで必須であることが再確認された。

表 16 北海道・東北地方ヒアリング結果

日時	2024年1月29日
場所	北海道・東北地方
相手先	執行役員・所長
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：1,660馬力（処理能力：25t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来：2,000t/月 ・産業廃棄物由来：600t/月 ・有価物由来：3,000t/月 ・家電リサイクル由来：50t/月（事業系家電のみ。） ・小型家電由来：20t/月（事業系小型家電を含む。） <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来：420t/月 ・産業廃棄物由来 450t/月 ・有価物由来：600t/月（ダスト） ・家電リサイクル由来：10t/月（事業系家電のみ。） ・小型家電由来：10t/月（事業系小型家電を含む。） <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>シュレッダーダストからのプラスチックマテリアルリサイクル並びにRPF製造を検討中。現在は6割が埋立、4割が焼却でその内3割はサーマルリカバリーを行っている。処理コストは発生由来の違いでばらつくが、6円～35円/kgとあったところ。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックの市場が未成熟。選別回収したプラスチックの販売価格も安価で資源化への取組みが触発されない。また、ケミカルリサイクルのハードルも高く、投資対効果が見込めない。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 17 関東地方ヒアリング結果 1

日時	2024年2月3日
場所	関東地方
相手先	支店長
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：125馬力（処理能力：240t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:100t/月 ・産業廃棄物由来:650t/月 金属資源性の高いものを有価物として購入(1,800t/月) <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:40t/月 ・産業廃棄物由来:350t/月 <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>シュレッダーダストの資源化には特に取り組んでいない。機械選別や手選別を加えることでダストの量を少しでも減らす方向で取り組んでいる。処理コストは概ね1,000万円/月で、埋立3割、サーマルリカバリー7割。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・廃車台数が減少しているうえ、同業他社との競争も激化してきている。 ・選別ラインに手を加え現在埋立処分しているシュレッダーダストの資源化には取り組みたいが、狭隘のため、工場全体的のゾーニングが必要となり簡単ではない。 <p>6. 施設の改良及び導入の可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・資源性を向上させるコンパクトな設備があれば導入検討もありか。投資対効果次第。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 18 関東地方ヒアリング結果 2

日時	2024年2月7日
場所	関東地方
相手先	室長
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：1,000馬力（処理能力：40t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:1,500t/月 ・小型家電由来:800t/月 <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:150t/月 ・小型家電由来:80～120t/月 <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>資源化への取組は特に行っていない。シュレッダーダストは100%サーマルリカバリーを行っている。処理コストは概ね1,000万円/月。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <p>混合プラスチックについては近赤外線による選別とカラー選別を行っている。回収されたプラスチックは30～40円/kgで販売できている。混合プラスチックのマテリアル化には興味はあるが会社規模から考えると投資対効果が発揮できないと思われる。</p> <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 19 関東地方ヒアリング結果 3

日時	2024年03月13日 16:00~17:30
場所	関東地方
相手先	所長、課長
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：2,500馬力（処理能力：25t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:2,600t/月 ・産業廃棄物由来:1,500t/月 ・小型家電由来:35t/月 <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:500t/月 ・産業廃棄物由来:550t/月 ・小型家電由来:0t/月（ダストも有価物として取引している。） <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>現在、グループ内でシュレッダーダストの資源化に向け準備を進めている。グループ内から発生するシュレッダーダストは全て新たな事業所で取り組む計画である。今は、全てサーマルリカバリーでコストは¥32,000/t（収運費別）程度と推測される。ここ数年、処理コストは落ち着いてきている。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・設備導入にあたっては、敷地面積が限られているためどこに配置できるのが最も重要な問題となる。また、希望する選別精度に仕上げるには今の技術では様々な設備が必要になる。ワンストップで希望する選別が出来る設備が開発されれば検討する余地は出てくる。 ・自動車ひとつとっても解体の仕方でも排出されるシュレッダーダストの特性は大きく変わる。様々なサンプルで実証した結果をメーカーとして提示して頂けると導入側は安心して検討に入ることができる。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 20 中部地方ヒアリング結果 1

日時	2024年1月22日、2月21日
場所	中部地方
相手先	代表者、常務取締役
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：2,000馬力（処理能力：80t/時間）、1,500馬力（処理能力66.6t/時）、845馬力（処理能力26.5t/時）、560馬力（処理能力16.2t/時）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:2,000t/月 ・産業廃棄物由来:2,000t/月 ・家電リサイクル由来:1,100t/月（事業系家電を含む。） ・小型家電由来:100t/月（事業系小型家電を含む。） <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:600t/月（自り法28条再資源化施設） ・産業廃棄物由来:1,000t/月（有価物買取:100t/月） ・家電リサイクル由来:110t/月（事業系家電を含む。） ・小型家電由来:10t/月（事業系小型家電を含む。） <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>自動車由来については再資源化施設の認定を取得し、二次破碎・選別後、硬質系プラスチック（PP/PE）はマテリアル原料化、軟質系プラスチックはRPF（RDF）燃料化している。また、家電由来のシュレッダーダストのうち、ウレタンダスト（フロン不含有）はRPF燃料化している。処理コストは発生由来別に異なるが、10～70円/kg程度。埋立7割、焼却3割、内SRは1割強。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックに付着した異物（ラベル、シール、インク、接着剤等）による再生素材の品質の低下及びその除去作業にかかるコストの負担増。 ・低品位プラの活用可能性の拡大。 <p>6. 施設の改良及び導入可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・RPF（RDF）成形固化機の増設（処理能力向上） <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 21 中部地方ヒアリング結果 2

日 時	2024 年 1 月 22 日
場 所	中部地方
相手先	部長
内 容	<p>1. シュレッダーの処理能力：400 馬力（処理能力：7t/時間）、350 馬力（処理能力：3.2 t /時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・家電リサイクル由来:245t/月(事業系家電を含む。) ・小型家電由来:360t/月(事業系小型家電を含む。) <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・家電リサイクル由来:5t/月(事業系家電を含む。) ・小型家電由来:80t/月(事業系小型家電を含む。) <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>家電リサイクル由来及び小型家電由来とも有価物として出荷。出荷先にて他の回収物とブレンドし銅精錬所へ出荷。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・黒色プラスチックの選別が一番の課題と捉えている。現在も選別装置はあるが選別精度が今一つであり、各社が研究開発を進めている。選別精度がさらに向上出来れば導入検討の可能性がある。 <p>6. 施設の改良及び導入の可能性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・プラスチックの選別精度が高い設備が開発された際には導入を検討。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 22 近畿地方ヒアリング結果 1

日 時	2024 年 2 月 13 日 13 : 00～15 : 00
場 所	近畿地方
相手先	代表取締役、次長
内 容	<p>1. シュレッダーの処理能力：120 馬力（処理能力：1.8t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:取り扱いなし(プレスまで) ・産業廃棄物由来:10t/月（手選別後マテリアル可能なプラスチック類のみを破砕） ・小型家電由来:70t/月（鉄リッチなものは除く。） <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:0t/月 ※プラスチックミックス品として有価取引 ・小型家電由来:0t/月 ※プラスチックミックス品として有価取引 <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>シュレッダーダスト＝製品（有価物）となるように、シュレッダーにかける品物は選択している。精錬会社向けには基板リッチな品物を、ペレット製造向けにはプラスチック製品を選択してシュレティングしている。シュレッダーダストは全て有価取引されている。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・軟質系プラスチックはサーマルリカバリーを、硬質系プラスチックはペレットの2次原料化を目指している。これまでは廃棄物の減容化を目指していたが資源価値を向上させる良い技術が身近になれば積極的な導入も視野に入れている。工場の敷地には限界があるので、コンパクトな設備を期待する。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 23 近畿地方ヒアリング結果 2

日時	2024年2月14日 11:00~12:30
場所	近畿地方
相手先	副本部長
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：2,500馬力</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車由来:取り扱いなし ※自り法28条再資源化施設のためASRは受け入れている。 ・産業廃棄物由来:シュレッダー破砕に限定した受入れは行っていない。 ・小型家電由来:4,000t/年(333t/月) <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:0t/月 ※破砕→再資源化→熱回収→不燃物埋立 ・小型家電由来:0t/月 ※有価物として取引 <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>破砕した残渣は再資源化(RPF)→焼却(熱回収)→不燃物埋立と一貫した処理システムとなっている。処理コストは自己完結型のため、ほとんどかかっていない。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <ul style="list-style-type: none"> ・自動車リサイクル法では解体時にプラスチックを回収しASRの減容化を図ろうと努めているが、プラスチックを回収しすぎるとカロリーが減り、サーマルリカバリー(熱回収)による再資源化が困難をきたす可能性がある。再資源化が可能な塩梅を見極めた取組が重要と考える。 ・自社完結型の設備投資もあり得ると思うが限界もあると思う。各社が得意とする技術を有機的に結び付ける資源化ネットワーク形成も取り組んで行く意義はある。 ・廃棄物の受け入れをおこなっているが、受入単位の設定は、品目ごとの比重を考慮しトンにするか立米にするか定まっている。 <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 24 九州・沖縄地方ヒアリング結果 1

日時	2024年2月15日 10:30~12:30
場所	九州・沖縄地方
相手先	部長、センター長代理
内容	<p>1. シュレッダーの処理能力：400~600馬力（処理能力：7.6t/時間）</p> <p>2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:300~400t/月 ※2割が廃棄物 8割が有価物として受入れ ・小型家電由来:10t/年 ※自治会回収は未実施。すべて自社回収 <p>3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・産業廃棄物由来:30~40t/月 ※重ダストとして1割くらい発生 ・小型家電由来:0t/月 ※有価物として取引 <p>4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト</p> <p>シュレッダー設備が堅型のため、金属類の投入は極力行わないように事前選別（人手によるピッキング選別）を行っている。産廃由来のシュレッダーダストはすべてサーマルリカバリーを行っており、処理コストは45円/kg(収運費別)程度。</p> <p>5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点</p> <p>シュレッダー設備導入のきっかけは中国の雑品禁輸措置。これまではあまり後工程の事は考えてこなかったが、資源化への取組を考えるきっかけとなった。海に接している立地環境を踏まえると湿式選別には興味があるが、技術的に確立できていないとも聞いている。本実証事業で検証している技術が有効なものであれば導入検討の可能性がある。</p> <p>【シュレッダーダストの排出状況】</p> 

表 25 九州・沖縄地方ヒアリング結果 2

日時	2024年2月26日 9:00~11:45
場所	九州・沖縄地方
相手先	副社長、常務、室長
内容	1. シュレッダーの処理能力：1,500馬力（処理能力：20.1t/時間）
	2. シュレッダー材として受け入れている発生由来別受入量
	・自動車由来：3,473t/月(4,952台/月)
	・産業廃棄物由来：166t/月
	・家電リサイクル由来：450t/月（事業系家電を含む。）
	・小型家電由来：23.3t/月（事業系小型家電を含む。）
	3. 発生由来別のシュレッダーダスト発生量
	・自動車由来：848t/月（自り法28条再資源化施設）
	・産業廃棄物由来：30t/月
	・家電リサイクル由来：36t/月（事業系家電を含む。）
	・小型家電由来：4t/月（事業系小型家電を含む。）
	4. 発生由来別シュレッダーダストの資源化への取組状況と処理コスト
	自動車由来(ASR)については再資源化施設の認定を受けておりRPF化を実施。RPFはグループの製鉄工場のカーボンの代替材として活用している。また、余剰分についてはセメント会社へ提供している。廃棄物として産廃処理する量は年間約530tで、焼却処理を行っている。処理コストは収運費別で¥35,000/t。
	5. 混合プラスチックの資源化及び実証設備導入に向けた課題や問題点
	既存の設備との連携やベース技術との組み合わせが可能な技術であれば導入検討の可能性がある。過去に油化施設を導入し資源化を試みたが断念した経緯がある。この度の実証技術が油化技術に応用できるのであれば関心はある。
【シュレッダーダストの排出状況】	
	

4.2. 事業採算性の評価

実証試験の結果から得られた、各種シュレッダーダストから回収される資源物等を整理した結果を表 26 に示す。

資源性評価の結果では、マテリアル 2 次原料としては不適合であったが、油化原料としては現時点では逆有償ではあるが利用可能性が比較的高いと評価された浮上物については、産廃由来の軽ダストで約 18%、重ダストで約 16%、小電由来軽ダストで約 13%、重ダストで約 11%、ASR の軽ダストにおいては約 40%を回収可能であることが確認された。

また、沈殿物の中からは、金属マテリアル資源として活用できる可能性がある非鉄金属が、産廃由来軽ダストで約 8%、重ダストで約 6%、小電由来軽ダストで約 8%、重ダストで約 9%、ASR の重ダストで約 7%、回収可能であることが確認され、産廃由来重ダストでは銅やステンを中心に有価性も確認された。

表 26 回収可能な資源物他

サンプル名称	サンプル量 (g)	浮遊物重量 (g)		沈殿物重量 (g)		溶解物 重量 (g)
		浮上物	沈下物	非鉄 金属	ダスト	
産廃由来 (軽ダスト)	5,660	1,000	160	440	1,860	2,200
		18%	3%	8%	33%	39%
小電由来 (軽ダスト)	9,980	1,280	2,920	840	3,940	1,000
		13%	29%	8%	39%	10%
ASR (軽ダスト)	6,180	2,442	1258	240	1,320	920
		40%	20%	4%	21%	15%
産廃由来 (重ダスト)	17,980	2,800	510	1060	10,440	3,170
		16%	3%	6%	58%	18%
小電由来 (重ダスト)	10,640	1,120	3,616	960	4,300	644
		11%	34%	9%	40%	6%
ASR (重ダスト)	11,280	273	1,207	800	5,820	3,180
		2%	11%	7%	52%	28%

そこで、弊社におけるシュレッダーダストの処理コストの削減効果について検討を行った。現在弊社では、年間で約 6,000 t のシュレッダーダストを産業廃棄物として処理処分している。年間になると約 2 億円強のコストとなっている。

表 23 の結果を鑑みると、弊社から発生しているシュレッダーダストの内、将来的には約 22%が資源化可能で、コスト的には同様に約 22%の削減が期待でき、将来的には、年間約 5,000 万円のコスト削減が可能と考えられる。

設備投資の減価償却期間を仮に 7 年間とすると約 3 億 5,000 万円の設備投資が可能となる。この予算の中で油化施設の導入までが可能となり、将来、自動車リサイクル法の 28 条再資源化施設の認定を受けることができれば、事業採算性を得ることは十分に可能性だと考える。

5. LCA の検証・評価

5.1. 評価に必要な情報の取得

5.1.1. 組成に関するデータ

複合材分離装置による回収可能な資源物については、分離実験で得られた表 26 のデータを用いた。

5.1.2. 複合材分離装置に関するデータ

1) 使用する溶媒の量

複合材分離装置で使用する溶媒の量は、分離実験を通じて取得した溶媒使用量を基準とし、カスタマイズ設計に取り込んだ溶媒の再生プロセスを踏まえ、複数回使用することを想定した。

2) 使用するエネルギー

使用するエネルギーは、カスタマイズ設計に基づき表 27 のとおりとした。

また、今回の分離実験では反応時間を 30 分としたが、より効果的に分離するために反応時間を短くすることを検討しており、反応時間を変動させて評価した。

表 27 カスタマイズ設計による設備機器と仕様

No.	名称	機器仕様	単位
1) R-1	混合分離槽	容量：50L 材質：SUS304 T：4m/m 液面計 温度計	1台
2) V-1	重質物分離槽	容量：100L 材質：SUS304 T：4m/m 温度計	1台
3) V-2	分離剤受槽	容量：100L 材質：SUS304 T：4m/m 温度計	1台
4) V-3	シールポット	容量：20L 材質：304 T：2m/m	1台
5) V-4	分離剤受槽	容量：50L 材質：SUS304 T：4m/m 真空ゲージ	1台
6) V-5	3P 槽	容量：50L 材質：SUS304 T：2m/m	1台
7) P-1	分離剤循環ポンプ	モーターポンプ 1.1kW CAP：10L/min HEAD：20m 250℃	1台
8) P-2	分離剤移送ポンプ	モーターポンプ 1.7kW CAP：50L/min HEAD：20m 200℃	1台
9) P-3	回収分離剤移送ポンプ	モーターポンプ 1.1kW CAP：10L/min HEAD：20m 250℃	1台
10)P-4	真空ポンプ	油回転真空ポンプ 2.2kW	1台
11)P-5	循環ポンプ	1.1kW	1台
12) AG-1	攪拌機	0.4kW インバーター仕様	1台
13) E-1	水分凝縮器	プレート式熱交換器 伝熱面積：1.7 m ²	1台
14) E-2	分離剤冷却器	プレート式熱交換器 伝熱面積：1.2 m ²	1台
15) E-3	真空凝縮器	プレート式熱交換器 伝熱面積：0.7 m ²	1台
16) E-4	水蒸気凝縮器	プレート式熱交換器 伝熱面積：0.7 m ²	1台
17) VAC-1	真空塔	容量：50L 材質：SUS304 T：4m/m	1式
18) A-1	投入機	容量：20L 材質：SUS304 T：2m/m ボールバルブ 100A 材質：SUS304 エア駆動	1式
19) S-1	ストレーナー	40メッシュ 材質 SUS304 2kW	1式
20) S-2	掻き出し器	1.2kW	1台
21) S-3	遠心脱液機	3.7kW	1台
22) EH-1	ヒーター	5kW	1台
23) EH-2	ヒーター	6kW	1台
24) EH-3	ヒーター	6kW	1台
25) EH-4	ヒーター	6kW	1台

5.2. CO₂削減効果の評価

5.2.1. 評価の考え方

本事業では、自動車、産業廃棄物、小型家電を処理した際に発生するシュレッダーダストを対象に、従来プロセスに対して湿式選別プロセスを導入することで、埋立量を削減するとともに、処理困難物であるシュレッダーダストを再資源化しようとするものである。

具体的には、複合材分離装置にシュレッダーダストを投入し、浮遊物としてオレフィン系プラスチックを、沈殿物として金属を回収する。浮遊物はさらに浮上物と沈下物に分離し、前者は油化原料、後者はRPF原料としてリサイクルされることを想定した。沈殿物の金属は銅としてリサイクルされることを想定した。複合材分離装置においてウレタンやPET等が溶解物として回収されるが、溶解物は埋立処分するものと想定した。

CO₂削減量の算定にあたっては、一般社団法人サステナブル経営推進機構が提供するLCIデータベースIDEAv3をバックグラウンドデータとして用いた。

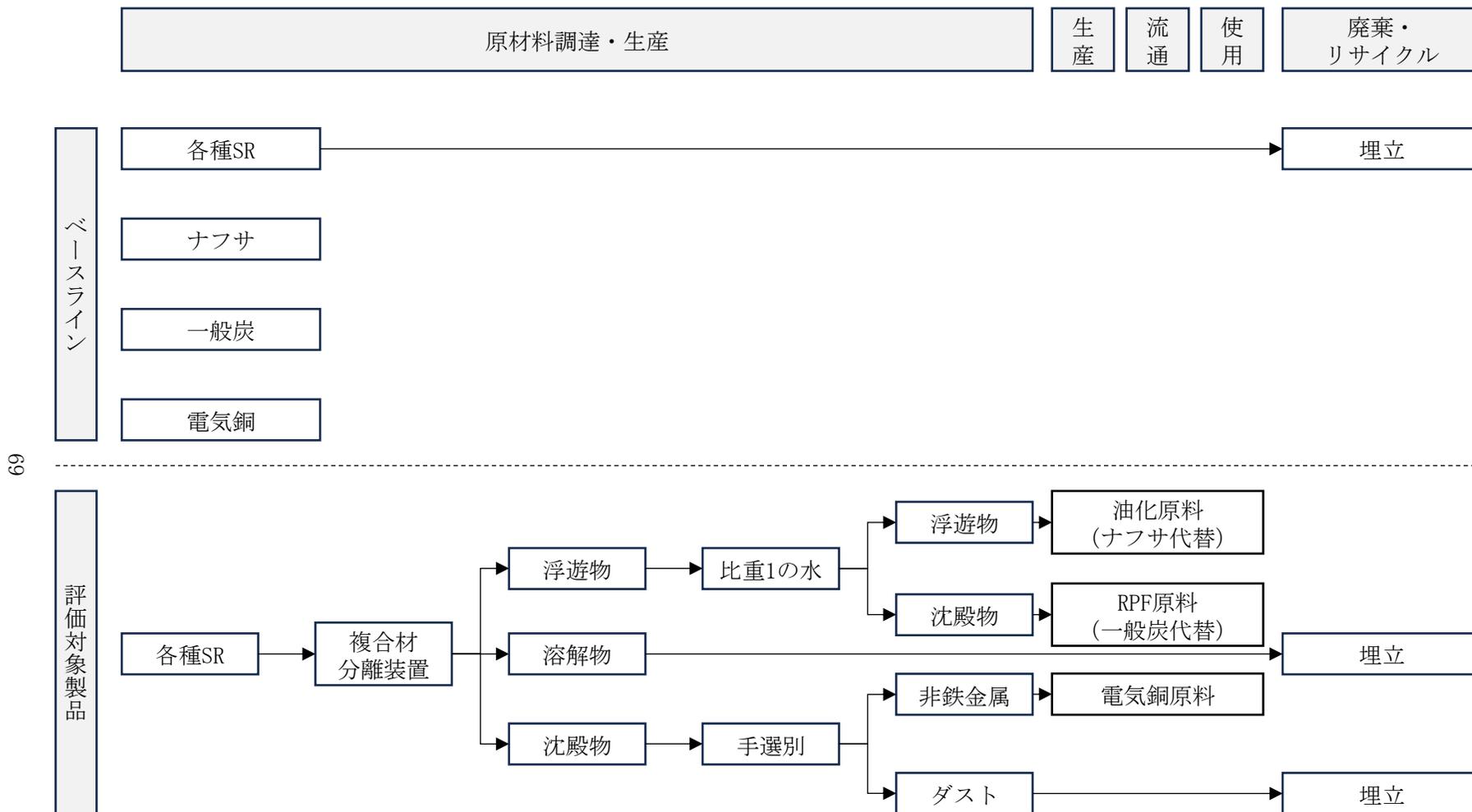


図 34 評価対象製品とベースラインのプロセス

5.2.2. 条件設定

1) 浮遊物（比重 1 分離後のプラスチック）のリサイクル

複合材分離装置により浮遊物として回収されたオレフィン系プラスチックのうち、浮上物として回収されたプラスチック類は油化原料としてリサイクルされると想定した。ここでは、油化技術の適用により、ナフサが代替されるものと想定する。なお、油化プロセスにおける CO2 排出量については、本年度はデータ取得できていないため、評価範囲から除外している点には留意願いたい。ナフサの製造時の CO2 排出量は IDEAv3.1（製品コード：171112000pJPN）のデータを使用した。

表 28 ナフサを代替した際の CO2 削減量

区分	CO2 削減量	単位
エネルギー起源 CO2	2.55E-02	kg-CO2/kg
非エネルギー起源 CO2	1.10E-07	kg-CO2/kg

2) 沈殿物（比重 1 分離後のプラスチック）のリサイクル

複合材分離装置により浮遊物として回収されたオレフィン系プラスチックのうち、沈下物として回収されたプラスチック類は RPF 原料としてリサイクルされると想定した。ここでは、RPF 原料がセメント工場で使用される一般炭の代替燃料として使用されるものと想定する。一般炭の製造時の CO2 排出量は IDEAv3.1（製品コード：052112101pJPN）のデータを使用した。

表 29 一般炭を代替した際の CO2 削減量

区分	CO2 削減量	単位
エネルギー起源 CO2	9.34E-02	kg-CO2/kg
非エネルギー起源 CO2	6.61E-04	kg-CO2/kg

3) 沈殿物のリサイクル

複合材分離装置により沈殿物として回収された金属は銅としてのマテリアルリサイクルされると想定した。選別された金属は電気銅原料と想定し、IDEAv3.1（製品コード：231111000pJPN）のデータを使用した。

表 30 電気銅を代替した際の CO2 削減量

区分	CO2 削減量	単位
エネルギー起源 CO2	9.34E-02	kg-CO2/kg
非エネルギー起源 CO2	6.61E-04	kg-CO2/kg

4) 溶解物の処理

複合材分離装置においてウレタンや PET 等が溶解物として回収されるが、溶解物は溶剤を含むものであるため、石油由来の廃油を埋立処分するものと想定した。埋立処分による CO2 排出量は IDEAv3.1（製品コード：882204212pJPN）のデータを使用した。

表 31 溶媒を埋立処分した際の CO2 削減量

区分	CO2 削減量	単位
エネルギー起源 CO2	6.69E-03	kg-CO2/kg
非エネルギー起源 CO2	5.03E-06	kg-CO2/kg

5) 従来のシュレッダーダストの処理

複合材分離装置での分離処理を行わない従来のシュレッダーダストの処理は、全量、プラスチックの埋め立て処分とした。埋立処分による CO2 排出量は IDEAv3.1（製品コード：881611201pJPN）のデータを使用した。

表 32 シュレッダーダストの埋立による CO2 削減量

区分	CO2 削減量	単位
エネルギー起源 CO2	3.41E-02	kg-CO2/kg
非エネルギー起源 CO2	3.39E-05	kg-CO2/kg

6) 複合材分離装置で使用する溶剤の評価

複合材分離装置で使用される溶剤は TEG とし、使用される溶剤の量は、繰り返し使用できることが想定されるため、本実証事業で実施した各シュレッダーダストの分離試験の際に使用した TEG 量 15kg を基準として、繰り返し使用することを前提としパラメータとして使用量を変動させて評価した。TEG の製造による CO2 排出量は IDEAv3.1（製品コード 163239164pJPN）のデータを使用した。

表 33 TEGの製造によるCO2削減量

区分	CO2削減量	単位
エネルギー起源CO2	4.97E+00	kg-CO2/kg
非エネルギー起源CO2	2.48E-04	kg-CO2/kg

7) カスタマイズ設計後の複合材分離装置で使用する電力の評価

カスタマイズ設計後の複合材分離装置で使用する電力(表 27 参照。)はモーターポンプ、攪拌機、ヒーターであり、合計の定格出力は 37.5kW である。本実証事業で実施した各シュレッターダストの分離試験では、分離時間を 30 分としているため、使用する電力量は 18.75kWh/回とする。電力の CO2 排出原単位は 0.000441t-CO2/kWh を使用する。

5.2.3. 評価廃棄・リサイクル手法における CO2 削減量の評価

1) エネルギー起源 CO2

以上から、エネルギー起源 CO2 排出削減量を評価すると、表 34 及び表 35 のとおりとなる。数値がマイナスを示しているものが CO2 削減効果を得られている場合である。溶媒の使用量及び反応時間の条件により、全ての処理対象物においてエネルギー起源 CO2 排出削減量を得られている。エネルギー起源 CO2 排出削減量は、産廃由来(重ダスト)、小電由来(重ダスト)、小電由来(軽ダスト)、ASR(重ダスト)、産廃由来(軽ダスト)、ASR(軽ダスト)の順に小さくなっている。溶媒を 3 回程度再生利用し、反応時間が 5 分程度で運転をすることで、全て処理対象物でエネルギー起源 CO2 排出削減量を得られており、カスタマイズ設計として追加した溶媒の回収と溶媒の再生利用を行う設備の導入と運転時間の最適化が重要であることを示している。

2) 非エネルギー起源 CO2

以上から、非エネルギー起源 CO2 削減量を評価すると、表 36 のとおりとなる。数値がマイナスを示しているものが CO2 削減効果を得られている場合である。非エネルギー起源 CO2 では、すべての場合で CO2 削減効果を得られる。なお、非エネルギー起源 CO2 においては、使用する電力由来の CO2 排出量はゼロであるため、パラメータとして反応時間は影響しない。

表 34 エネルギー起源 CO2 排出削減量 (軽ダスト)

	反応 時間 (分)	溶媒の 使用量 (kg)												
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
産 廃 由 来	30	1.42E+01	1.33E+01	1.17E+01	9.58E+00	7.30E+00	5.22E+00	3.55E+00	2.39E+00	1.68E+00	1.30E+00	1.14E+00	1.08E+00	1.06E+00
	25	1.40E+01	1.31E+01	1.15E+01	9.33E+00	7.06E+00	4.98E+00	3.31E+00	2.14E+00	1.43E+00	1.06E+00	8.93E-01	8.33E-01	8.15E-01
	20	1.37E+01	1.29E+01	1.12E+01	9.09E+00	6.82E+00	4.73E+00	3.07E+00	1.90E+00	1.19E+00	8.16E-01	6.50E-01	5.89E-01	5.71E-01
	15	1.35E+01	1.26E+01	1.10E+01	8.85E+00	6.57E+00	4.49E+00	2.82E+00	1.66E+00	9.46E-01	5.72E-01	4.07E-01	3.46E-01	3.28E-01
	10	1.33E+01	1.24E+01	1.07E+01	8.60E+00	6.33E+00	4.25E+00	2.58E+00	1.41E+00	7.02E-01	3.29E-01	1.63E-01	1.02E-01	8.45E-02
	5	1.30E+01	1.21E+01	1.05E+01	8.36E+00	6.09E+00	4.00E+00	2.34E+00	1.17E+00	4.59E-01	8.55E-02	-8.04E-02	-1.41E-01	-1.59E-01
小 電 由 来	30	7.84E+00	7.35E+00	6.42E+00	5.21E+00	3.92E+00	2.74E+00	1.79E+00	1.13E+00	7.28E-01	5.16E-01	4.22E-01	3.87E-01	3.77E-01
	25	7.71E+00	7.21E+00	6.28E+00	5.07E+00	3.78E+00	2.60E+00	1.65E+00	9.93E-01	5.90E-01	3.78E-01	2.84E-01	2.49E-01	2.39E-01
	20	7.57E+00	7.07E+00	6.14E+00	4.93E+00	3.64E+00	2.46E+00	1.52E+00	8.55E-01	4.52E-01	2.40E-01	1.46E-01	1.11E-01	1.01E-01
	15	7.43E+00	6.93E+00	6.00E+00	4.79E+00	3.51E+00	2.32E+00	1.38E+00	7.17E-01	3.14E-01	1.02E-01	7.71E-03	-2.68E-02	-3.68E-02
	10	7.29E+00	6.79E+00	5.86E+00	4.66E+00	3.37E+00	2.19E+00	1.24E+00	5.79E-01	1.75E-01	-3.63E-02	-1.30E-01	-1.65E-01	-1.75E-01
	5	7.15E+00	6.66E+00	5.73E+00	4.52E+00	3.23E+00	2.05E+00	1.10E+00	4.41E-01	3.74E-02	-1.74E-01	-2.68E-01	-3.03E-01	-3.13E-01
A S R	30	1.31E+01	1.23E+01	1.08E+01	8.86E+00	6.78E+00	4.87E+00	3.35E+00	2.28E+00	1.63E+00	1.28E+00	1.13E+00	1.08E+00	1.06E+00
	25	1.29E+01	1.21E+01	1.06E+01	8.64E+00	6.56E+00	4.65E+00	3.12E+00	2.05E+00	1.40E+00	1.06E+00	9.09E-01	8.53E-01	8.37E-01
	20	1.27E+01	1.19E+01	1.04E+01	8.42E+00	6.33E+00	4.43E+00	2.90E+00	1.83E+00	1.18E+00	8.38E-01	6.86E-01	6.30E-01	6.14E-01
	15	1.24E+01	1.16E+01	1.01E+01	8.19E+00	6.11E+00	4.20E+00	2.68E+00	1.61E+00	9.57E-01	6.15E-01	4.63E-01	4.07E-01	3.91E-01
	10	1.22E+01	1.14E+01	9.92E+00	7.97E+00	5.89E+00	3.98E+00	2.45E+00	1.38E+00	7.34E-01	3.92E-01	2.40E-01	1.84E-01	1.68E-01
	5	1.20E+01	1.12E+01	9.70E+00	7.75E+00	5.67E+00	3.76E+00	2.23E+00	1.16E+00	5.11E-01	1.69E-01	1.67E-02	-3.90E-02	-5.52E-02

表 35 エネルギー起源 CO2 排出削減量 (重ダスト)

	反応 時間 (分)	溶媒の 使用量 (kg)												
		15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3
産 廃 由 来	30	4.30E+00	4.02E+00	3.51E+00	2.84E+00	2.12E+00	1.47E+00	9.42E-01	5.75E-01	3.51E-01	2.33E-01	1.81E-01	1.62E-01	1.56E-01
	25	4.22E+00	3.95E+00	3.43E+00	2.76E+00	2.05E+00	1.39E+00	8.65E-01	4.98E-01	2.74E-01	1.56E-01	1.04E-01	8.51E-02	7.95E-02
	20	4.15E+00	3.87E+00	3.36E+00	2.68E+00	1.97E+00	1.31E+00	7.89E-01	4.21E-01	1.97E-01	7.98E-02	2.76E-02	8.44E-03	2.87E-03
	15	4.07E+00	3.79E+00	3.28E+00	2.61E+00	1.89E+00	1.24E+00	7.12E-01	3.45E-01	1.21E-01	3.18E-03	-4.91E-02	-6.82E-02	-7.38E-02
	10	3.99E+00	3.72E+00	3.20E+00	2.53E+00	1.82E+00	1.16E+00	6.35E-01	2.68E-01	4.41E-02	-7.35E-02	-1.26E-01	-1.45E-01	-1.50E-01
	5	3.92E+00	3.64E+00	3.13E+00	2.45E+00	1.74E+00	1.08E+00	5.59E-01	1.91E-01	-3.26E-02	-1.50E-01	-2.02E-01	-2.21E-01	-2.27E-01
小 電 由 来	30	7.30E+00	6.83E+00	5.96E+00	4.83E+00	3.62E+00	2.51E+00	1.62E+00	1.00E+00	6.25E-01	4.26E-01	3.38E-01	3.06E-01	2.96E-01
	25	7.17E+00	6.70E+00	5.83E+00	4.70E+00	3.49E+00	2.38E+00	1.49E+00	8.74E-01	4.95E-01	2.97E-01	2.08E-01	1.76E-01	1.67E-01
	20	7.04E+00	6.57E+00	5.70E+00	4.57E+00	3.36E+00	2.25E+00	1.36E+00	7.44E-01	3.66E-01	1.67E-01	7.89E-02	4.65E-02	3.71E-02
	15	6.91E+00	6.44E+00	5.57E+00	4.44E+00	3.23E+00	2.12E+00	1.24E+00	6.15E-01	2.36E-01	3.76E-02	-5.07E-02	-8.30E-02	-9.24E-02
	10	6.78E+00	6.31E+00	5.44E+00	4.31E+00	3.10E+00	1.99E+00	1.11E+00	4.85E-01	1.07E-01	-9.19E-02	-1.80E-01	-2.13E-01	-2.22E-01
	5	6.65E+00	6.19E+00	5.31E+00	4.18E+00	2.97E+00	1.86E+00	9.76E-01	3.55E-01	-2.28E-02	-2.21E-01	-3.10E-01	-3.42E-01	-3.51E-01
A S R	30	7.00E+00	6.56E+00	5.74E+00	4.67E+00	3.53E+00	2.48E+00	1.65E+00	1.06E+00	7.05E-01	5.18E-01	4.35E-01	4.04E-01	3.95E-01
	25	6.88E+00	6.44E+00	5.62E+00	4.55E+00	3.41E+00	2.36E+00	1.53E+00	9.40E-01	5.83E-01	3.96E-01	3.13E-01	2.82E-01	2.73E-01
	20	6.76E+00	6.32E+00	5.49E+00	4.43E+00	3.29E+00	2.24E+00	1.40E+00	8.18E-01	4.61E-01	2.74E-01	1.90E-01	1.60E-01	1.51E-01
	15	6.64E+00	6.19E+00	5.37E+00	4.30E+00	3.16E+00	2.12E+00	1.28E+00	6.96E-01	3.39E-01	1.52E-01	6.83E-02	3.78E-02	2.89E-02
	10	6.51E+00	6.07E+00	5.25E+00	4.18E+00	3.04E+00	2.00E+00	1.16E+00	5.74E-01	2.17E-01	2.94E-02	-5.39E-02	-8.44E-02	-9.33E-02
	5	6.39E+00	5.95E+00	5.13E+00	4.06E+00	2.92E+00	1.87E+00	1.04E+00	4.51E-01	9.46E-02	-9.28E-02	-1.76E-01	-2.07E-01	-2.15E-01

表 36 非エネルギー起源 CO2 排出削減量

溶媒の 使用量	15kg	14kg	13kg	12kg	11kg	10kg	9kg	8kg	7kg	6kg	5kg	4kg	3kg
産廃由来(軽)	-4.65E-02	-4.65E-02	-4.66E-02	-4.67E-02	-4.68E-02	-4.69E-02	-4.70E-02	-4.70E-02	-4.71E-02	-4.71E-02	-4.71E-02	-4.71E-02	-4.71E-02
小電由来(軽)	-5.25E-02	-5.25E-02	-5.25E-02	-5.26E-02	-5.27E-02	-5.27E-02	-5.28E-02						
ASR(軽)	-2.27E-02	-2.28E-02	-2.28E-02	-2.29E-02	-2.30E-02	-2.31E-02	-2.32E-02	-2.33E-02	-2.33E-02	-2.33E-02	-2.33E-02	-2.33E-02	-2.33E-02
産廃由来(重)	-3.47E-02	-3.48E-02	-3.48E-02	-3.48E-02	-3.48E-02	-3.49E-02							
小家由来(重)	-5.67E-02	-5.67E-02	-5.68E-02	-5.68E-02	-5.69E-02	-5.69E-02	-5.70E-02						
ASR(重)	-4.22E-02	-4.22E-02	-4.23E-02	-4.23E-02	-4.24E-02	-4.24E-02	-4.25E-02						

6. 今後の課題と対応方針

6.1. 今後の課題

分離試験の結果、実証事業に用いたエチレングリコール類を溶剤とした複合材分離技術では、ありとあらゆる微細な土砂ガラスや木くず、金属くず等が混入したシュレッダーダストに対しては、当初想定していた分離選別を精度よく行うことは困難であることが確認された。

また、溶解槽の温度帯を 220～230℃に制御し、30 分攪拌することで、回収対象としているオレフィン系プラスチック（PE、PP、PS）以外の結晶性樹脂、例えばナイロンやPBT（トリブチレンテレフタレート）がシュレッダーダストの中に含まれていれば、これらのプラスチック類も溶解してしまい、温度の低下とともに回収対象物以外のプラスチック類が混合した形で固化する可能性もある。ケミカル分析の結果からスチレン系ポリマー由来と推定されるモノ置換ベンゼン環の樹脂が確認されており、その懸念を裏付けている。

今後の課題としては、

- ・ シュレッダーダストのトロンメルによる篩選別等の事前選別の実施
- ・ 溶解槽の反応温度や反応時間、溶媒量と投入量の関係等、運転条件の検討
- ・ 付着した溶剤の除去方法の検討
- ・ 溶媒の再利用の方法及び溶媒に溶解したプラスチック類の回収方法の検討等が挙げられる。

6.2. 課題への対応方針

(1) シュレッダーダストのトロンメルによる篩選別等の事前選別の実施

本実証事業でサンプルとして使用した重ダストについては、通常ではメタルソーサ選別後のダストはそのまま産業廃棄物として処理処分を行っているため、含まれないが、今回は意図的に加えた。重ダストについては、現状でも事前選別は実施されている。

軽ダストについては、事前選別を行っていないため、トロンメルによる篩選別等を実施し、土砂ガラス等の細かな屑を除去したサンプル作製を行う。

(2) 溶解槽の反応温度・反応時間、溶剤量と投入量の関係等、運転条件の検討

ケミカル分析結果を参考にプラスチック類の特性を踏まえた運転条件の検討を実施する。反応温度・反応時間については低温度・短時間を軸に検討を行う。溶剤量と投入量の関係についても反応時間と回収量との相関を見つつ適量投入量を見極める。

(3) 付着した溶媒の除去方法の検討

カスタマイズ設計に加えているとおり、回収したオレフィン系プラスチックに付着した溶媒は、新たに設ける 3P 槽に抜き出す過程にスクリー加熱器を導入することで、

分離剤を蒸発させることを計画する。

(4) 溶剤の再利用の方法及び溶剤に溶解したプラスチック類の回収方法の検討

カスタマイズ設計に加えているとおり、使用した溶媒は、新たに設ける真空塔に送り真空凝縮器を導入することで分離剤の回収を計画する。

III. おわりに

本実証事業を通じて、TEG を溶剤として用いた分離回収技術はマテリアルリサイクル原料を分離回収する技術としては、解決しなければならない技術的課題や運転管理上の問題、回収物に付着した溶媒の除去等、後工程の課題が明確となり、社会実装するには非常にハードルが高いことが明らかとなった。その反面、ケミカルリサイクルである油化原料を作製する分離回収技術としては、比較的ウレタンやPET 等が溶解（除去）されていることや、マテリアルリサイクル原料では解決しなければならない付着した溶媒の除去といった課題解決も必要が無くなる等、ポテンシャルが高いことが確認された。

シュレッダーダストのケミカルリサイクル原料化に向けた適正な運転管理の検証を行うことで、最終処分量の削減、サーマルリカバリーからの脱却に向けた一翼を担える可能性が高まるものとする。

I. 特許番号 6050834 号「プラスチック系複合廃棄物の分別回収方法」

1. 書誌

- 【発行国】 日本国特許庁(JP)
【公報種別】 特許公報(B2)
【特許番号】 6050834
【登録日】 2016年12月2日
【発行日】 2016年12月21日
【発明の名称】 プラスチック系複合廃棄物の分別回収方法
【国際特許分類】 *C08J 11/08 20060101AFI20161212BHJP*
B09B 5/00 20060101ALI20161212BHJP
A61L 2/04 20060101ALI20161212BHJP
A61L 11/00 20060101ALI20161212BHJP
C08J 3/00 20060101ALI20161212BHJP
C22B 7/00 20060101ALI20161212BHJP
C10G 1/10 20060101ALN20161212BHJP
- 【F I】 C08J11/08CER
B09B5/00 QZAB
A61L2/04
A61L11/00
C08J3/00CEZ
C22B7/00 A
!C10G1/10
- 【請求項の数】 8
【全页数】 13
【出願番号】 特願 2014-553225 (P2014-553225)
【出願日】 2013年12月20日
【国際出願番号】 JP2013084286
【国際公開番号】 W02014098229
【国際公開日】 20140626
【審査請求日】 2015年12月15日
【優先権主張番号】 特願 2012-278364 (P2012-278364)
【優先日】 2012年12月20日
【優先権主張国】 JP
【特許権者】

【識別番号】 597104916

【氏名又は名称】 アースリサイクル株式会社

【代理人】

【識別番号】 100091465

【弁理士】

【氏名又は名称】 石井 久夫

【発明者】

【氏名】 立花 孝

【審査官】 金 公彦

【参考文献】 【文献】 特開2000-169623 (JP, A)

【文献】 特開2006-110531 (JP, A)

【文献】 特開平09-278930 (JP, A)

【文献】 特開2002-212571 (JP, A)

【文献】 特開2007-186549 (JP, A)

【文献】 特開2009-112642 (JP, A)

【文献】 特開2013-006948 (JP, A)

【文献】 国際公開第2012/033742 (WO, A1)

【調査した分野】 (Int. Cl., DB名) C08J 11/00-11/28

B29B 17/00-17/04

B09B 1/00-5/00

C08J 3/00-3/28

C08J 99/00

C01G 1/00-99/00

DWPI (Thomson Innovation)

2. 特許請求の範囲

【請求項1】 プラスチック系複合廃棄物を処理して浮上系プラスチック成分、溶解系プラスチック成分及び沈降系プラスチック成分とに分別して回収する方法であつて、エチレングリコール類を反応開始剤とし、溶解系プラスチック成分を加熱溶解して反応融液を形成する工程と、該反応融液を分離溶剤Aとしてプラスチック系複合廃棄物をプラスチック系成分と非プラスチック系成分とに分離する工程と、該反応融液で分離したプラスチック系成分を浮上系プラスチック成分、溶解系プラスチック成分、沈降系プラスチック成分に分別する工程とを備え、エチレングリコール類としてエチレングリコール、ジエチレングリコール及びトリエチレングリコールからなる群から選ばれる1種以上と、該エチレングリコール類に溶解して反応融液を形成する溶解系プラスチック成分

がPET樹脂、PC樹脂、PU樹脂、PA樹脂から選ばれる1種以上とから前記分離溶剤Aを構成し、エチレングリコール類とこれに溶解する溶解系プラスチック成分の樹脂類の成分選択及び両者の配合率で使用する分離溶剤Aの沸点を決定し、非プラスチック系成分、沈降プラスチック成分、溶解プラスチック成分及び浮上プラスチック成分に分別し、回収することを特徴とするプラスチック系複合廃棄物の分離分別回収方法。

- 【請求項2】 分離溶剤Aに浮上する浮上系プラスチック成分としてPP、PE、PS系樹脂を含み、分離溶剤Aに溶解する溶解系プラスチック成分としてPET、PU、PC及びPA系樹脂を含み、分離溶剤Aから沈降する沈降系プラスチック成分としてPVC系樹脂を含む、請求項1記載の方法。
- 【請求項3】 プラスチック系複合廃棄物が医療用廃棄物、自動車用廃棄物、漁網、ソーラセル、携帯電話、家電製品、FRP、溶離残渣等のプラスチックと非プラスチックの複合材であって、非プラスチック成分が金属、非金属、半導体、ガラス繊維、炭素繊維等の無機物を含む請求項1記載の方法。
- 【請求項4】 分離溶剤A中で加熱分別する工程の前に、シクロヘキサノン、シロヘキサン又はメチルイソブチルケトン或いはそれらのキシレン混合液からなる分離溶剤Bの加温浴中に前記プラスチック系複合廃棄物を浸漬し、プラスチック成分を溶解又は膨潤させ、その他の非プラスチック成分と予め分別する予備処理を行う請求項1記載の方法。
- 【請求項5】 プラスチック系複合廃棄物がエポキシ樹脂及び不飽和ポリエステル樹脂等FRP又は炭素繊維製品であって、マトリックス樹脂と強化繊維と分離する工程を含む請求項1に記載の方法。
- 【請求項6】 プラスチック系複合廃棄物がPVCを含み、該PVC成分を分離溶剤Aから沈降させ、その他の浮上及び溶解系プラスチック成分と分別する請求項1に記載の方法。
- 【請求項7】 廃プラスチック製品が医療廃棄物であって、殺菌処理とともに金属成分とプラスチック成分を分離する請求項1に記載の方法。
- 【請求項8】 PET樹脂、PC樹脂、PU樹脂、PA樹脂からなる群から選ばれる溶解系プラスチック成分50～95重量部に、加圧又は常圧下沸点近くに加熱したエチレングリコール類を少なくとも5重量部添加して反応させ、得られる融液またはその凝固粉末を主成分とし、沸点220℃～390℃の範囲にあることを特徴とするプラスチック系複合廃棄物の分別回収用分離溶剤。

3. 発明の詳細な説明

【技術分野】

本発明はプラスチック系複合廃棄物、特に各種プラスチック系複合廃棄物、金属とプラスチックとの複合系電気製品及び自動車製品、医療廃棄物、合成繊維と天然繊維との混紡品、FRP等の複合系プラスチック廃棄物の分別回収方法に関する。

【背景技術】

廃プラスチックの種類としては熱可塑性樹脂と熱硬化性樹脂とがあり、これらを比重分離する方法は古くから行われている。ただ、熱可塑性樹脂は広くリサイクルが行われている。PVCは熱焼却処理すると塩素ガスを排出するのでこの塩素ガスを回収する必要がある（特許文献1）、これらを油化处理すると、設備腐食の原因となり、処理コストが高額となるという難点がある。他方、PET樹脂は触媒として苛性ソーダを用いないとジエチレングリコールでの分解反応が難しい（特許文献2）が、苛性ソーダを用いると解重合してテレフタル酸塩等を生じ、再利用には水洗して再生する必要があり、後処理が面倒である。他方、熱硬化性樹脂のリサイクルは難しい。例えば、エポキシ樹脂硬化物は、電気特性、耐熱性、接着性に優れているため、絶縁材、接着剤、塗料などの広い分野で利用されているが、熱分解が難しいため、リサイクルは難しい。他方、繊維強化プラスチック（以下、FRPという）は一般に強化繊維としてガラス繊維を使用するものが軽量性や耐久性という点で優れていることから、自動車、航空機、スポーツ用品、その他の分野で広く採用されているが、強化繊維に起因してリサイクルが困難となっている。そこで、不飽和ポリエステルをマトリックス樹脂とし、ガラス繊維以外の有機繊維を強化繊維とするFRP製品についてはグリコールを用いてこれを分解し、得られた分解生成物を二塩基酸と縮合反応させてリサイクルする方法が提案されている（特許文献3）。他方、FRPのリサイクルする方法としてジエチレングリコールモノメチルエーテルを溶剤とし、触媒としてリン酸三カリウム水和物を用いて常圧溶解法が提案されている（非特許文献1及び2）。

また、医療廃棄物では腎透析セット、点滴セットの廃棄物は、血液等の体液、注射針を含むために感染性である可能性が高い上、材質中に塩化ビニル樹脂、金属を多く含むため、最も処理が困難な廃棄物の一つである。そのため、従来から、腎透析セットの廃棄物は塩化水素ガスやダイオキシンの発生という問題がありながら熱殺菌処理の関係上焼却処分されてきたのが実情である。

さらに、金属材料等を備えたプラスチック製品、例えばOA機器、携帯端末、携帯電話、テレビ、掃除機、冷蔵庫などの各種電気製品、特にこれらの制御部に用いられているプリント配線基板、更には溶融管継手、樹脂被覆電線、光ケーブル、繊維強化プラスチックなど、金属材料と一体に形成される。これら金属含有プラスチック製品においては、廃棄処理、或いは製造過程において成形不良となった製品の再利用処理においては、金属材料とプラスチック材料とをきれいに、しかも効率良く分離することが求められる。そこで従来、処理方法として、金属含有プラスチック製品のプラスチック材料を加熱溶解させて金属材料等と

分離させる処理方法が各種提案されてきた。例えば、特許文献4は、食用廃油を170～175℃に加熱し、この食用廃油中に金属含有プラスチック製品を投入すると共に食用廃油を攪拌してプラスチックを熔融させ、金属素材が剥き出しになったところで食用廃油の加熱を中止して自然冷却させ、その後、食用廃油中から金属素材を取り出すというプラスチック廃棄物の金属素材選別方法を提案している。また、特許文献5は、プラスチック材が軟化熔融する温度に加熱されたてんぷら油などの植物性油内に、OA機器や家電製品などの電気製品の廃棄物を投入し、軟化熔融して植物性油の上部に浮上した溶解プラスチック材を取り出し、その後、油槽内に残留する金属材を取り出す電気製品の廃棄物の処理方法を提案している。しかしながら、加熱媒体としての油中に金属含有プラスチック製品、例えば携帯電話などを投入すると、食品を油で揚げる如くプラスチック材料が加熱溶解して塊となって油上に浮上する一方、その他の金属材料等は油底に沈降するが、同時に、油中にプラスチック材料を投入すると、プラスチック材料が熔融した際に発火する場合があります、危険である。そこで、金属含有プラスチック製品の処理において、プラスチック材料を油層中で安全かつ効率良く加熱溶解させることができる金属含有プラスチック製品の処理方法が提案されている（特許文献6）。しかしながら、近年電気部品ではエポキシ樹脂等の熱硬化性樹脂基板上に半導体回路等の電気回路を形成する機会が多いにも拘わらず、かかる熱硬化性樹脂の場合に、油加熱処理を適用しても金属材料及び樹脂材料を有効に分別回収することは困難であり、エポキシ樹脂など熱硬化性樹脂を使用する多くの電気製品には適用できないという難点がある。

その他、現状では各種の複合系プラスチック廃棄物がリサイクル困難な廃棄物として出現しているが、製品として、アルミ／PP／PET三層シート、PE／PETカーペット、銀層／PETシート積層X線フィルム、ナイロン／PETボトル、PET／綿／ナイロン／アクリル混紡衣料、FRP製ボート及び浴槽、炭素繊維系配管及び部品、鉛付き漁網、電線、PVC用紙など各種各様で焼却が困難なもの、焼却可能であるが材料を再利用できるように分離回収したい材料が多いが分離回収が困難なため、焼却されているのが現状である。

【先行技術文献】

【特許文献】 【特許文献1】 特開2001-55583号公報

【特許文献2】 特開2006-110531号公報

【特許文献3】 特許第4096000号公報

【特許文献4】 特開平5-147041号公報

【特許文献5】 特開昭10-137734号公報

【特許文献6】 特開2008-213480号公報

【非特許文献】 【非特許文献1】 日立化成テクニカルレポートNo. 42(2004.1)

【非特許文献2】 常圧溶解法によるエポキシCFRPリサイクル

【発明の開示】

4. 発明が解決しようとする課題

医療廃棄物、FRPを含め、かかる複合系プラスチック廃棄物を焼却処理することなく、プラスチック及び金属などの有効成分を分離回収して有効利用できる方法及び装置を提供すべく鋭意研究の結果、本発明者は溶剤としてトリエチレングリコール（TEG）を用い、沸点（286℃）近傍に加熱すると、医療廃棄物に必要な殺菌、熱可塑性樹脂の熔融に十分な温度処理が可能である一方、熱硬化性樹脂に対して解重合等の反応溶剤として機能するので、これを分離溶剤として各種被処理物を投入し、多種多様な複合系廃棄物に対し広く適用できる万能型分離回収方法を提供した。しかしながら、トリエチレングリコールを用いる方法は、塩ビ処理における塩素関連腐食から解放され、種々の複合系プラスチックを処理できる利点はあるものの、溶剤コストが高く、ランニングコストが高くなるという問題点がある。そこで、本発明は多種多様なプラスチック廃棄物、特に複合系廃棄物に対し広く適用できる万能型分離回収方法であって、トリエチレングリコールのみを使用する方法に代替する極めて実用的な方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

本発明者は、エチレングリコール類に対しPET、PU、PC等の溶解系樹脂を熔融処理していると、エチレングリコール類の分率が低下しているにも拘らずエチレングリコール類と反応した融液中ではプラスチック成分と金属等の非プラスチック成分との分離効率が低下しないことを見出し、これに着目し、エチレングリコール類を用いて形成したエステル系樹脂融液を分離溶剤として鋭意研究の結果、本発明を完成した。すなわち、本発明はプラスチック系複合廃棄物を処理して浮上系成分、溶解系成分及び沈降系成分とに分別して回収する方法であって、エチレングリコール類を反応開始剤とし、溶解系樹脂を加熱熔融して反応融液を形成する工程と、該反応融液を分離溶剤Aとしてプラスチック系複合廃棄物をプラスチック系成分と非プラスチック系成分とに分離する工程と、分離したプラスチック系成分を該反応融液で浮上系成分、溶解系成分、沈降系成分に分別する工程とを備え、非プラスチック系成分、沈降プラスチック成分、溶解プラスチック成分及び浮上プラスチック成分を分別し、回収することを特徴とするプラスチック系複合廃棄物の分別回収方法にある。

【発明の効果】

したがって、本発明によれば、非プラスチック成分とプラスチック成分とを分離するだけでなく、分離溶剤Aに浮上する成分としてPP、PE、PS系樹脂と、分離溶剤Aに溶解する成分としてPET、PU、PC及びPA系樹脂と、分離溶剤Aから沈降する成分としてPVCとに、プラスチック成分は三種に分別回収することができる。

また、本発明によれば、エチレングリコール類と反応して形成されるエステル系樹脂融液は分解開始剤として使用されるエチレングリコール類より高い沸点を有することになり、プラスチック成分と金属等の非プラスチック成分との分離性能が維持されるだけでなく、油化に適する、PP、PE、PS等の浮上系成分を浮上分別させる一方、その他のプラスチック成分を溶解させ、真空蒸留して分離することができ、PVC、エポキシ樹脂等は沈降回

取することができることになる。すなわち、例えば、エチレングリコールの沸点は186℃であるが、エチレングリコールとPETの50対50配合での熔融液は沸点220℃となり、5対95配合では288℃となり、以下のとおりである。また、トリエチレングリコール(TEG)とエステル系樹脂との熔融液は以下のとおりである。

配合量(対EG) 50% 95%
PET 221℃ 288℃
PC 350 372
PU 360 370

配合量(対TEG) 50% 75% 95%

PET 372 373 390
PC 352 358 384
PU 370 372 378

ここで、沸点とは常圧蒸留時の出口から一滴落ちた時の液温を沸点とした。

したがって、溶剤の高沸点化により処理効率は向上するだけでなく、エチレングリコール類の使用量を低減させ、回収することができるので極めて実用的である。

したがって、本発明において、前記分離溶剤Aをエチレングリコール類がエチレングリコール、ジエチレングリコール及びトリエチレングリコールからなる群から選ばれる1種以上と、該エチレングリコール類に溶解して反応融液を形成する樹脂分がPET樹脂(ポリエチレンテレフタレート)、PC樹脂(ポリカーボネイト)、PU樹脂(ポリウレタン)、PA樹脂(ナイロン)から選ばれる1種以上とから選択すれば、エチレングリコール類と溶解系樹脂類の成分選択及び両者の配合率で使用する分離溶剤Aの沸点を決定することができる。300℃以上の高い沸点を有する分解溶剤は処理時間を短縮することができ、FRPや基板処理に適する。

プラスチック系複合廃棄物として、医療用廃棄物、自動車用廃棄物、漁網、ソーラセル、携帯電話、家電製品、FRP等のプラスチックと非プラスチックの複合材であって、非プラスチック成分としては金属、非金属、半導体、ガラス繊維、炭素繊維等の無機物を含む。

分離溶剤A中で加熱分別する工程の前に、シクロヘキサノン(又はシクロヘキサン)又はメチルイソブチルケトン、要すればそれらのキシレン混合液からなる分離溶剤Bの加温浴中に前記プラスチック系複合廃棄物を浸漬し、プラスチック成分を溶解又は膨潤させ、その他の非プラスチック成分と予め分別する予備処理を行うことができる。

PVCの溶解にはシクロヘキサノン(シクロヘキサン)又はそれとキシレンとの混合液(キシレン80%以下)を常圧下90~100℃に加温した浴に浸漬し、壁紙及び自動車窓枠の予備処理に使用することができる。PVCの膨潤にはメチルイソブチルケトン(MIBK)又はそれとキシレンとの混合液(MIBK20~80%)を常圧下常温~70℃に加温した浴に浸漬し、膨潤させて携帯、ソーラパネルから回路基を取り出す予備処理に使用する

ことができる。

本発明においては、エポキシ樹脂及び不飽和ポリエステル樹脂等のFRPを強化繊維と分離して分別回収することができる。炭素繊維製品においても炭素繊維とマトリックス樹脂とを分離して回収することができる。

プラスチック系複合廃棄物がPVCを含み、該PVC成分を分離溶剤Aに溶解させず、その他の浮上及び溶解系成分と分別して沈降させるか分離溶剤A中にてアルカリ剤の添加の下に加熱して脱塩処理するとともにその他の浮上及び溶解系成分と分別して沈降させて、分別回収することができる。220から310℃の範囲で脱塩処理するとともに沈降させ、分別することができる。この場合、アルカリ剤の投入により反応系を中性となし、ジオキサンの形成を防止するのがよい。また、220℃以下では脱塩処理することなく、PVCを沈降させ分別回収することもできる。

本発明方法は廃プラスチック製品が医療廃棄物である場合は、複合材分離槽内を220℃以下となし、PVCが分解しない温度で殺菌処理とともにプラスチック成分と金属成分と分別して回収するのが好ましい。

PET樹脂、PC樹脂、PU樹脂、PA樹脂からなる群から選ばれる溶解系成分を加圧又は常圧下沸点近くに加熱したエチレングリコール類と反応させ、得られる融液またはその凝固粉末を主成分とすることを特徴とするプラスチック系複合廃棄物の分別回収用分離溶剤、特に、PET樹脂、PC樹脂、PU樹脂からなる群から選ばれるポリエステル樹脂成分50重量部にエチレングリコール類を少なくとも5重量部添加して反応させ、得られる融液またはその凝固粉末である分離溶剤が好ましい。

本発明においては、反応したプラスチック系成分を含む融液は減圧蒸留して未反応揮発成分としてエチレングリコール類を回収し、再利用することができる。

本発明において、廃プラスチックがPVCを含むときは、加圧又は常圧下220℃以上350℃に加熱可能なエステル系樹脂融液中で溶解することにより触媒を使用することなく脱塩処理することができ、従来の油化装置と異なり、低温腐食が起こりにくくなるだけでなく、脱塩素効果に優れ、熱分解油の残留塩素濃度は国の制限値100ppmを大きく下回ることになる。

本発明において、エチレングリコール類を反応開始剤とし、反応させて得られる沸点220℃から390℃であるエステル系樹脂融液は複合系プラスチックを処理する分離溶剤として利用することができる。

エチレングリコールの沸点は186℃であるが、エチレングリコールとPETの50対50での融液は沸点220℃となり、エチレングリコールとPETの5対95での融液は沸点288℃となる。トリエチレングリコールとエステル系樹脂との融液はエチレングリコールの沸点は286℃であるが、PC（ポリカーボネイト）との50対50配分率で350℃、5対95の配分率で384、PET（ポリエチレンテレフタレート）との50対50配分率で3720℃、5対95の配分率で390℃に至る。したがって、トリエチレン

グリコールに代替しうる分離溶剤の高沸点化を図ることができ、処理効率を向上させることができる。

よって、本発明にかかる分離溶剤はプラスチック系複合廃棄物の処理方法における処理効率は向上するだけでなく、トリエチレングリコールの使用量を低減させることができるので極めて実用的である。

さらに、本発明によれば、医療廃棄物においても、熱焼却法でなく、融液中で高温加熱処理することにより排ガス処理の問題もなく、殺菌処理が可能で、プラスチック成分と金属成分とが分別され、回収できる。すなわち、本発明によれば、塩素含有、金属含有プラスチックを含む医療廃棄物を殺菌（無害化）とともにプラスチック等を分別回収できる。

さらにまた、本発明によれば、熱硬化性樹脂をマトリックス樹脂として使用したFRP製品を解体処理するに当たり、廃FRP製品を分別せずそのまま又は粉碎してアルカリ金属水酸化物を使用せず、マトリックス樹脂と強化繊維とを分別することができる。

5. 発明を実施するための最良の形態

以下、実施例に基づき、本発明の実施形態について説明する。本発明のプラスチック系複合廃棄物としては、医療用廃棄物、自動車用廃棄物、漁網、ソーラセル、携帯電話、家電製品、FRP等のプラスチックと非プラスチックの複合材であって、非プラスチック成分としては金属、非金属、半導体、ガラス繊維、炭素繊維等の無機物を含む。廃棄物の種類によっては予め分離溶剤Bを用いて予備処理を行うのが好ましい。壁紙、自動車窓枠ではシクロヘキサノン又はそれとキシレンとの混合液（第2石：灯油相当）とし、常圧、90ないし100℃の温度でPVCを溶解処理するのが好ましい場合がある。また、携帯電話との基板部品を含む電気製品や半導体、金属枠等を含む太陽光パネルではメチルイソブチルケトン又はそれとキシレンとの混合液（第2石：灯油相当）とし、常圧、常温～70℃の温度でPVC膨潤させ、基板と金属枠、半導体等を分別しておくのがよい。

（実施例1）

本発明で用いる分離回収装置は、溶剤としてエチレングリコール類を含む複合材分離装置10を備える。ここに投入できる廃棄物Aには溶りプラ、溶り残渣、Al/PET/PE系複合材、カーペット、X線フィルム、医療感染性プラ、GFRP（ガラス繊維FRP）、CFRP（カーボン繊維FRP）、基板、自動車プラ、古着を含む。廃棄物Aは分離装置10内で浮上物プラスチックP1（PE：ポリエチレン、PP：ポリプロピレン、PS：ポリスチレン）と、沈降物（金属、ガラス繊維、炭素繊維）と、反応プラスチックP2（PET：ポリエチレンテレフタレート、PC：ポリカーボネート、PU：ポリウレタン、PA：ポリアミド）及び熱硬化性プラスチックP3（PVC：ポリ塩化ビニリデン、エポキシ樹脂等の熱硬化性プラスチック）とに分離することができる。PVCは220℃以下で分解させず回収するのがよいが、270～280℃に上げて脱塩素し、ガス洗浄装置80を介してTEG等エチレングリコール類と反応させ、酸類（ジオキ

サン)として回収してもよい。

上記分離装置10の底部には受槽20が接続し、分離溶剤A(S)とともに溶解プラスチックP2及びP3を回収する。受槽20には図示しないフィルタを介して蒸発槽30が接続し、未反応固形物を減圧下に溶剤を沸点以上に加熱してエチレングリコール類を蒸発させ、分離装置10に循環させる一方、残渣を反応物として回収する。溶解樹脂がPET樹脂である場合はそのまま、PET樹脂の増量剤として使用し、その他の樹脂を含む場合は混合樹脂として利用する。

他方、反応分離槽10から溶融浮上プラスチック(PE,PP,PS等)P1は熱分解装置40に送られ、要すれば廃棄物B(廃食用油、廃タイヤ、廃潤滑油)とともに熱分解され、蒸留装置50で分解ガス(自家燃料)、軽質油(自家燃料)、重質油(自家燃料)に分留されるとともに、一部は高品質化装置60(例えば、特許第5144020号に記載のアルコールを使用する高品質化装置)を介してボイラー燃料として回収され、発電機70で発電に利用される。また、一部残渣として回収される。

他方、沈降物(金属、非金属、ガラス繊維、炭素繊維(解糸)、フィラー、綿、麻、アクリル等)は、例えば加熱したエチレングリコール類、スチーム洗浄及び熱風乾燥後再生品として回収される。洗浄水は水を蒸発させて溶剤を回収し、分解装置10に循環させて使用することができる。

(分離溶剤の調整)

本発明においては分離装置内の溶剤組成をTEGに対するPET、PC、PU等のポリエステル系樹脂の組成比を95重量%以下、50重量%以上に調整しておくことが肝要であり、PET50、75、95重量部に対しTEG(トリエチレングリコール)50、25、5重量部を加えて加熱して溶融させると、それぞれ、沸点372℃、373℃及び390℃の分離溶剤Iが得られる。溶剤組成をEGに対するPET、PC、PU等のポリエステル系樹脂の組成比をPET50、95重量部に対しEG(エチレングリコール)50、5重量部を加えて加熱して溶融させると、それぞれ、沸点221℃、288℃の分離溶剤Iが得られる。

他方、PC95、75、50重量部にTEG(トリエチレングリコール)5、25、50重量部を加えて加熱して溶融させると、沸点352℃、358℃及び384℃の分離溶剤IIが得られる。PC50、95重量部にEG(エチレングリコール)50、5重量部を加えて加熱して溶融させると、沸点350℃、372℃の分離溶剤IIが得られる。

更に、PU50、75、95重量部にTEG(トリエチレングリコール)50、5重量部を加えて加熱して溶融させると、沸点350℃、372℃の分離溶剤IIIが得られる。PU50、95重量部にEG(エチレングリコール)50、5重量部を加えて加熱して溶融させると、沸点360℃、370℃の分離溶剤IIIが得られる。

(実施例2)

図I-1の設備によりプラスチック系複合廃棄物を次のように処理する。PET50重量

部にTEG（トリエチレングリコール）50重量部を添加してバッチ式溶解槽100で加熱溶融させて調整した分離溶剤Aにアルミ/PET/PE/PVC複合廃棄物を投入、攪拌しながら220～250℃で0.5～1時間加熱保持し、樹脂分とアルミ分を分離する。ついで、浮上する樹脂分PEは油化に適するため、一旦洗浄槽に取り出し、220℃のTEGで洗浄し、熱分解装置に送られ、油を回収する。洗浄に使ったTEGは分離剤受槽101に回収される。他方、溶解系樹脂分を含む分離溶剤は分離剤受槽101に移送され、減圧蒸留器102に送られ、TEGとPET混合樹脂を分離し、TEGは凝縮器103を介して回収し、分離剤受槽102に戻す。溶解槽中には未溶解のアルミと沈降したPVCが残留するので、これらを取り出し、乾燥後アルミとPVCに分別する。溶解槽100の上部には気化する溶剤を凝縮器104で凝集し、回収して溶解槽に戻すようになっている。

本実施例では

- 1) PE, PP, PSは分離溶剤中で反応せず、上方に浮上してその他の樹脂と分離される。
- 2) PVCに分離溶剤に溶解せず、金属等と一緒に分離されるので、PVCを事前に分別しておく必要がなくなる。
- 3) PE樹脂は油化原料に、アルミはマテリアルとして回収し、PET樹脂は増量剤に、PVC樹脂は素材として再利用することができる。したがって、カーペット（PET/PE）、溶離残渣（PET/アルミ/その他の樹脂）、漁網、医療系廃棄物、自動車廃材、古着等の分別回収に適する。

（実施例3）

図I-3に示す設備によりプラスチック系複合廃棄物であるCFRPを処理する。PET75重量部にTEG（トリエチレングリコール）25重量部を添加してバッチ式溶解槽100で加熱溶融させて調整した分離溶剤Aに厚み7mmのCFRP管を投入、攪拌しながら常圧で270℃6時間保持し、解糸FRP（68重量%）と樹脂分（32%）を分離する。解糸はTEG等で洗浄後取り出し、乾燥して再利用する一方、樹脂分は分離溶剤とともに溶剤受槽101に回収され、減圧蒸留器102に送られ、TEGとエポキシ等の樹脂分を分離し、TEGは凝縮器103を介して回収し、分離剤受槽101に戻す。エポキシ等の樹脂分はバインダーとして再利用する。その他は実施例2と同様である。

本実施例はその他、GFRP、基板等の処理に適する。

- 4) 基板は分離溶剤でエポキシ樹脂と金属とに分離され、分別される。
- 5) FRPはガラス繊維と樹脂分に分かれ、ガラス繊維は溶解槽に残り、樹脂分は分離溶剤中に溶解し、回収される。

（実施例4）

図I-4はプラスチック系複合廃棄物である壁紙（PVC/紙）を処理する設備を示す。シクロヘキサノン70重量部にキシレン30重量部を混合してバッチ式溶解槽100で80～100℃に加熱させて調整した分離溶剤Bに壁紙を投入し、攪拌しながら常圧で20

分保持し、PVC（70重量%）と紙分（30%）を分離する。紙は乾燥させて回収する。樹脂分は分離溶剤Bとともに溶剤受槽101に回収され、冷却器110で冷却後メタノール分理槽111に送られ、シクロヘキサノン及びメタノール分とシクロヘキサノン及びPVC樹脂分とを分離し、シクロヘキサノン及びメタノール分はメタノール蒸発器112でシクロヘキサノンとメタノールを分離し、メタノールはメタノール蒸発器112に戻るとともにシクロヘキサノンは溶剤受槽101に戻す一方、シクロヘキサノンとPVC樹脂分はシクロヘキサノン蒸発器113で両者を分離し、PVC樹脂を回収する。本実施例はその他、鉄とPVCからなる自動車窓枠、銅とPVCからなる配電線等の処理に適する。

（実施例5）

図I-5はプラスチック系複合廃棄物である携帯電話（PVC/基板）を処理する設備を示す。メチルイソブチルケトン80重量部にキシレン20重量部を混合して予備溶解槽120で70℃に加熱させて調整した分離溶剤Bに携帯電話を投入し、攪拌しながら常圧で20分保持し、PVC（70重量%）を膨潤させ、基板（30%）と分離する。分離溶剤Bは予備溶剤受槽121で回収し、循環される。基板は分離溶剤Aとともに図I-3の処理設備に投入される。同一部材に同一番号を付して説明を省略する。その後は実施例3と同様に処理され、基板は分離溶剤Aに溶解しないガラス繊維及び貴金属と、分離溶剤Aに溶解するエポキシ等の樹脂に分別される。分離溶剤Bとしてはシクロヘキサノンの代わりにメチルイソブチルケトン又はメチルエチルケトンを使用しても良い。

本実施例はその他、基板を含む電気機器の等の処理に適する。

（実施例6）

実施例2のアルミ/PE T/PE/PVC複合廃棄物及び実施例3のCFRPの処理を連続的に行う処理設備は、図I-6及び図I-7のとおりとなる。連続処理設備は原料であるアルミ/PE T/PE/PVC複合廃棄物及びCFRPを投入する連続式溶解槽200が縦型槽201とそれに続く水平槽202とでL字形となし、その外周をジャケット203で包囲され、加温できるようになっており、その終端から斜め上方に延びる傾斜排出槽204とその上方終端から水平に乾燥器205が設けられる。上記水平槽202には始端から終端に渡って水平ロータリー移送機206が内装され、上記排出槽203には斜めロータリー移送機207が内装され、原料は溶解されつつ前方及び斜め上方に送られる。上記縦型槽201と傾斜排出槽203の溶解液レベルLを同一とし、傾斜排出槽203からレベルLを越えると、溶解液がオーバーフローし、減圧蒸留機208に排出され、そこで、分解溶剤Aの溶解液TEGとPE T等の溶解液に溶解した溶解系樹脂を分別する。蒸留されたTEGは凝集器209を介して分解剤として縦型槽201に戻される。傾斜排出槽204を登ってアルミ、PE樹脂及びPVCは排出されるが、傾斜排出槽204中で上方からTEG洗浄され、乾燥機205で乾燥させて排出する。その他の条件は実施例1と同様であり、説明を省略する。

図 I-7 では縦型槽 201 への投入原料が CFRP であるので、乾燥器 205 からの分別材料が解糸 CFRP となり、減圧蒸留機 208 からの分別樹脂がエポキシ等樹脂となる。その他の条件は実施例 3 と同様であるので説明を省略する。

特に、本発明を利用する時の利点は次点が挙げられる。

- 1) 本発明では PVC 樹脂は分解温度を 220℃以下において処理することにより PVC を分離溶剤 A から沈降させて分別回収することができる。温度 270～280℃で脱塩素処理することもでき、塩素ガスの影響で酸性になる場合はアルカリ剤を添加して中和するのが好ましい。
- 2) 従来のプラスチック廃棄物は分別回収して処理する必要があったが、本発明によれば、高価なトリエチレングリコール (TEG) を大量に使用することなく、300℃以上の沸点溶剤を得ることができ、これを用いることにより、処理効率を向上させることができる。300℃以上の高温での分解はガラス繊維又はグラファイト繊維で強化した CFRP, GFRP 並びに炭素樹脂成形品中の強化繊維とマトリックス樹脂との分離回収に適する。したがって、分離溶剤 A の組成及びその配合率で 220℃以下、220～280℃、300℃以上と分解処理の温度に合うように分離溶剤を選択形成することができる。
- 3) また、樹脂分は溶剤に反応せず浮上する樹脂分と溶剤に反応する PET 樹脂等を分別することなく、分離回収することができる。溶剤に浮上する PE, PP, PS は有効な油化成分として回収できる一方、溶剤に溶解反応する樹脂分は反応物として回収され、有益な材料として利用可能である。
- 4) 従来多くが焼却されていた金属を含む医療廃棄物及び基板から貴重な金属を有効に分離回収できるので、実用性が高い。
- 5) ソーラパネル、携帯電話等では予め、PVC 樹脂を膨潤させるメチルイソブチルケトンまたはそれとキシレンとの混合物 (メチルイソブチルケトン 20～80% が好ましい) からなる分離溶剤 B の加温浴に浸漬して処理し、半導体、基板等を取り出して分離溶剤 A での分解処理に委ねるのが効率的である。壁紙、自動車窓枠などは PVC 樹脂を溶解するシクロヘキサノン又はそれとキシレンの混合物 (シクロヘキサノン 20～80% が好ましい) 分離溶剤 B の加温浴に浸漬して処理し、予め樹脂類と紙、金属等を分離しておくのが好ましい。
したがって、本発明では予備処理と複合材分離処理の二段階工程からなる複合プラスチック系廃棄物の分別処理を含む。
- 6) 特に、バッチ式溶解槽を図 I-6 及び図 I-7 に示すように連続処理設備とすると、複合廃棄物の連続処理が可能で効率に優れる。

【符号の説明】

- 10 分離装置
- 20 溶剤受槽

- 30 溶剤蒸発槽
- 40 熱分解装置
- 50 蒸留装置
- 60 高品質化装置
- 70 発電機
- 80 ガス洗浄装置
- 100 バッチ式溶解槽
- 101 分離剤受槽
- 102 減圧蒸発器
- 200 連続式溶解槽
- 208 減圧蒸発器

廃棄物の処理プロセス

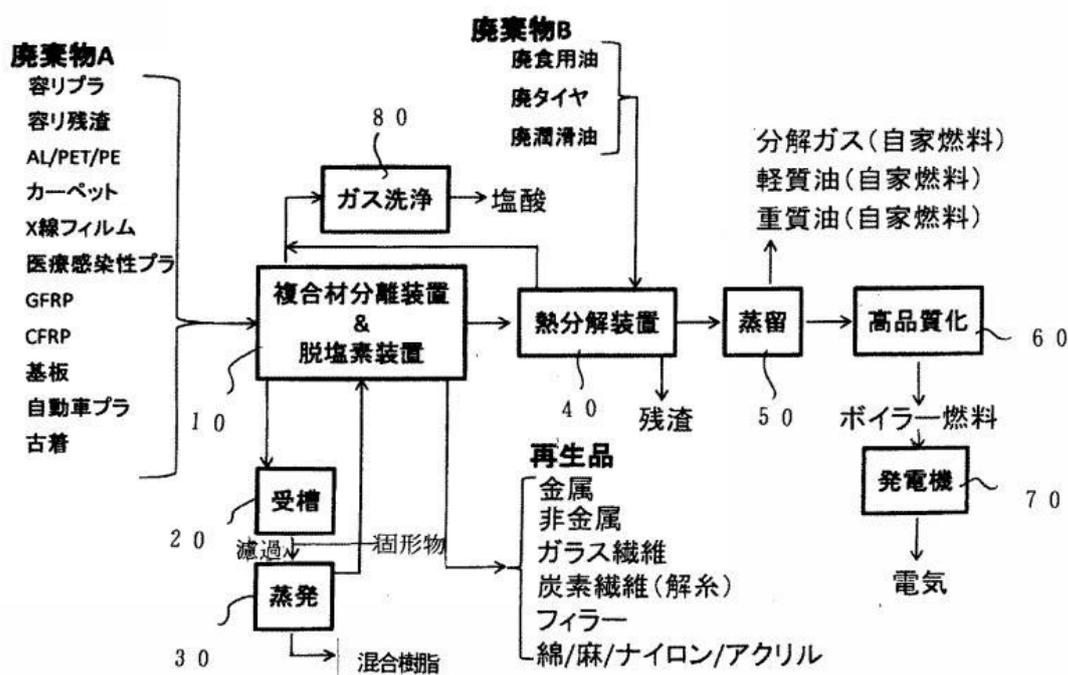


図 I-1 本発明の複合系プラスチックの処理プロセスを示す概要

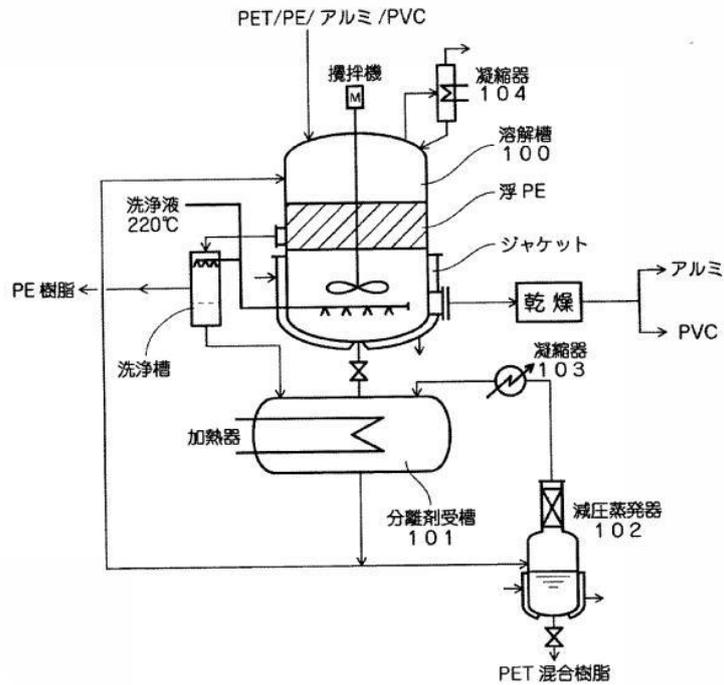


図 I-2 アルミ/PET/PE/PVC複合廃棄物の処理設備の概要

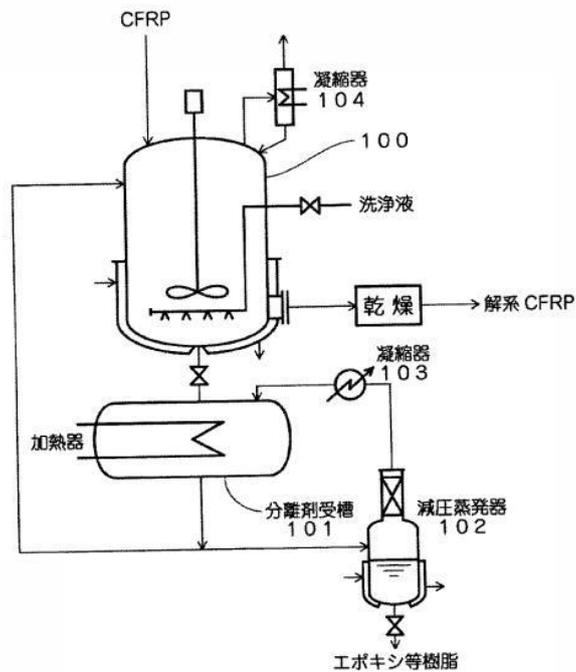


図 I-3 CFRPの処理設備の概要

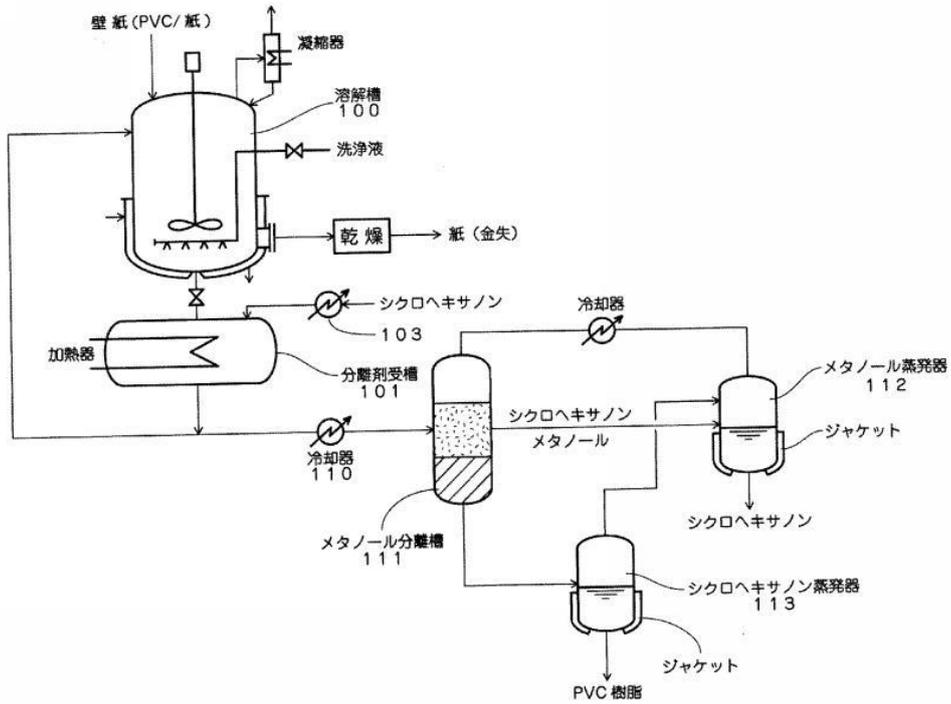


図 I-4 壁紙 (PVC/紙) の処理設備の概要

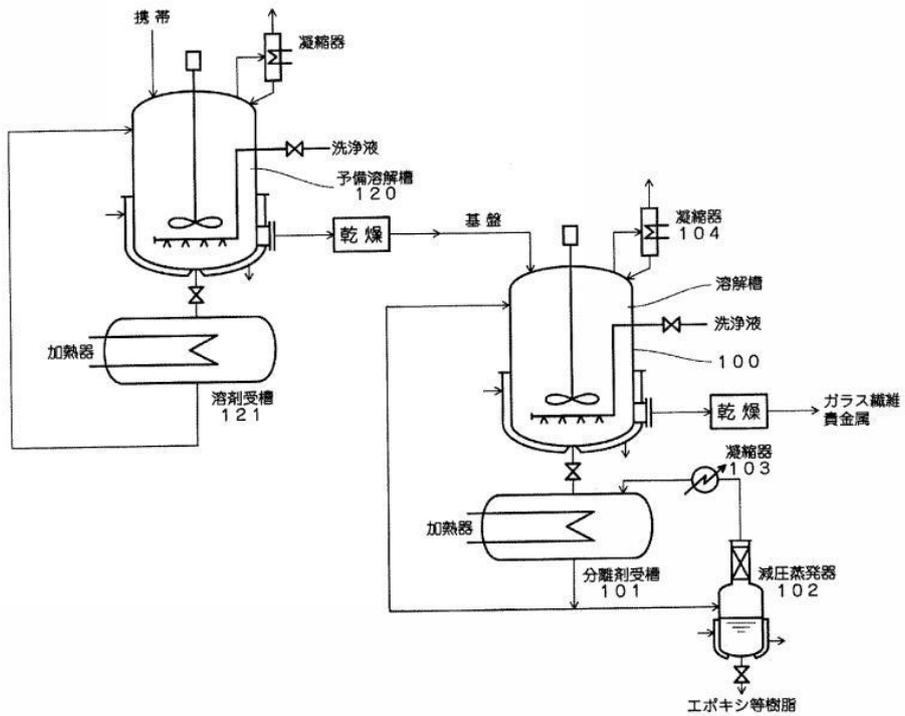


図 I-5 携帯電話の処理設備の概要

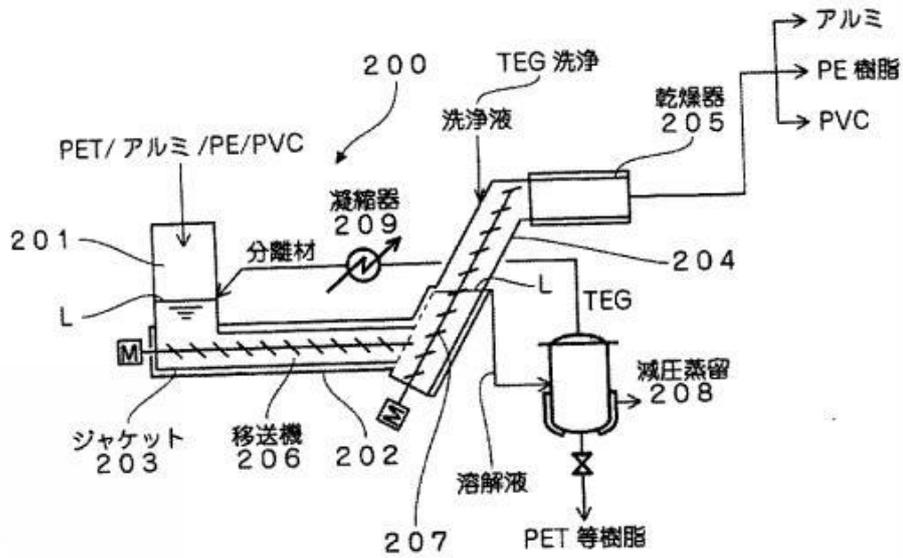


図 I-6 アルミ/PET/PE/PVC 複合廃棄物の連続処理設備の概要

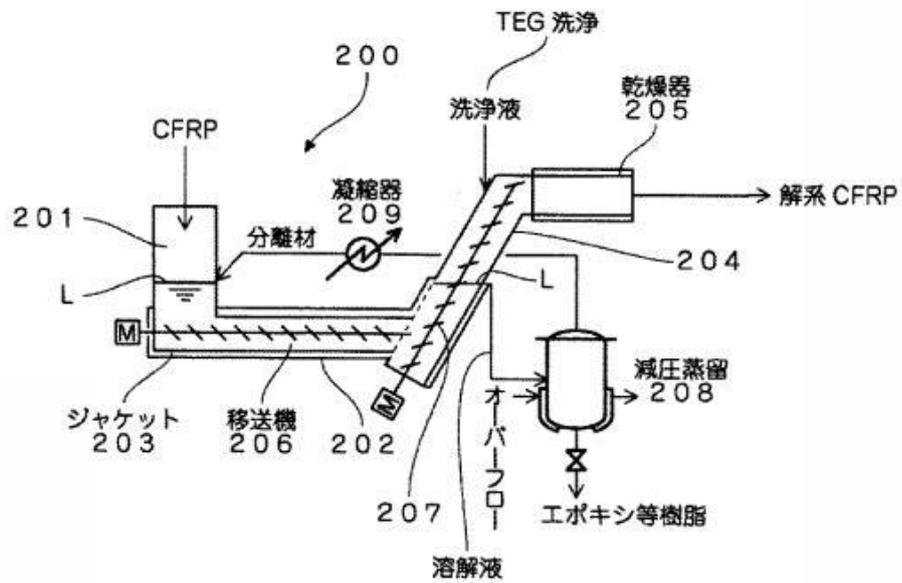


図 I-7 携帯電話の連続処理設備の概要

II. サンプル作製状況（現場写真）

1. 産廃由来（軽ダスト）

No.	1	
試料	産廃由来（軽ダスト）	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月23日	

No.	2	
試料	産廃由来（軽ダスト）	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月23日	

No.	3
試料	産廃由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



No.	4
試料	産廃由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	5
試料	産廃由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



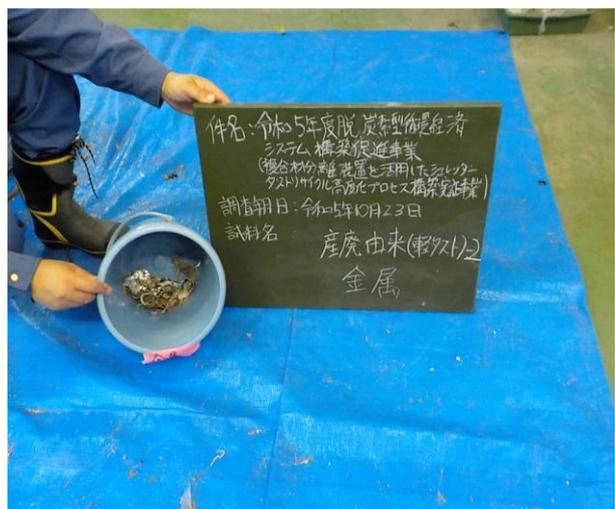
No.	6
試料	産廃由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	7
試料	産廃由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



No.	8
試料	産廃由来 (軽ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



No.	9
試料	産廃由来（軽ダスト）-2
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



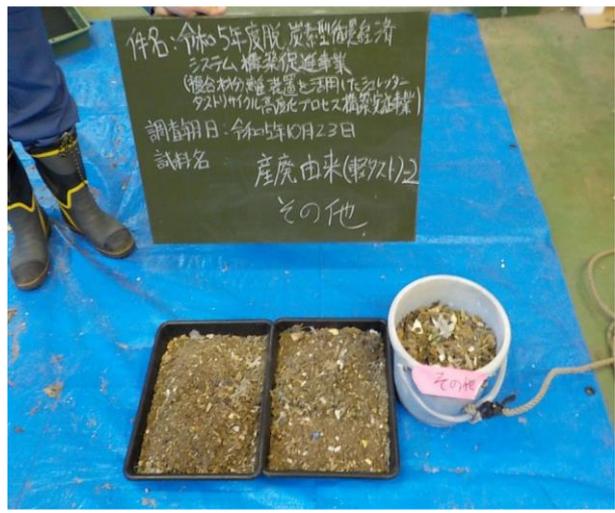
No.	10
試料	産廃由来（軽ダスト）-2
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	11
試料	産廃由来（軽ダスト）-2
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	12
試料	産廃由来 (軽ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



No.	13
試料	産廃由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



No.	14
試料	産廃由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	15
試料	産廃由来（軽ダスト）-3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	16
試料	産廃由来（軽ダスト）-6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	17
試料	産廃由来（軽ダスト）-3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



2. 産廃由来（重ダスト）

No.	1	
試料	産廃由来（重ダスト）	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月24日	

No.	2	
試料	産廃由来（重ダスト）	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月24日	

No.	3
試料	産廃由来（重ダスト）-1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月24日



No.	4
試料	産廃由来（重ダスト）-1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	5
試料	産廃由来（重ダスト）-1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	6
試料	産廃由来 (重ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月24日



No.	7
試料	産廃由来 (重ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月24日



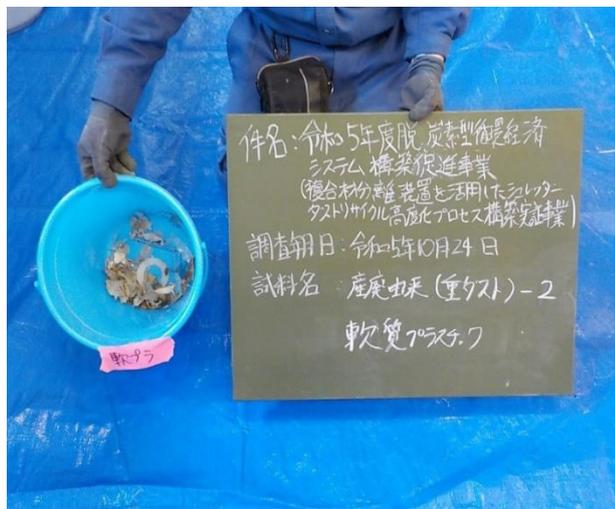
No.	8
試料	産廃由来 (重ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月24日



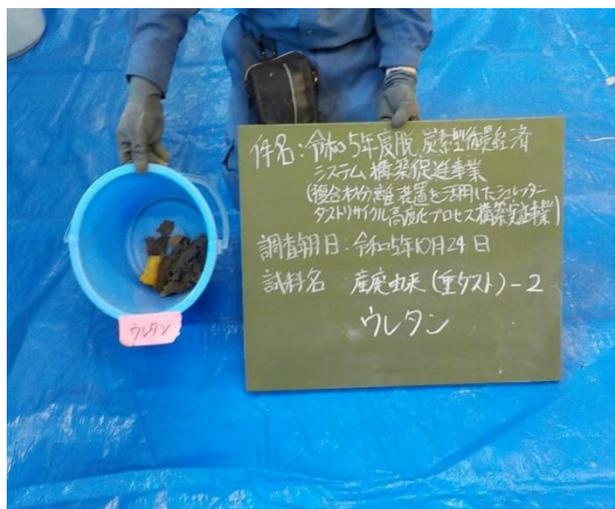
No.	9
試料	産廃由来 (重ダスト) -2
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	10
試料	産廃由来 (重ダスト) -2
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



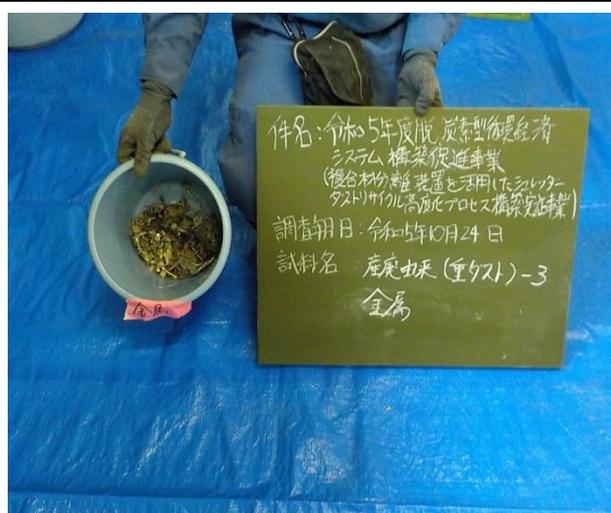
No.	11
試料	産廃由来 (重ダスト) -2
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月24日



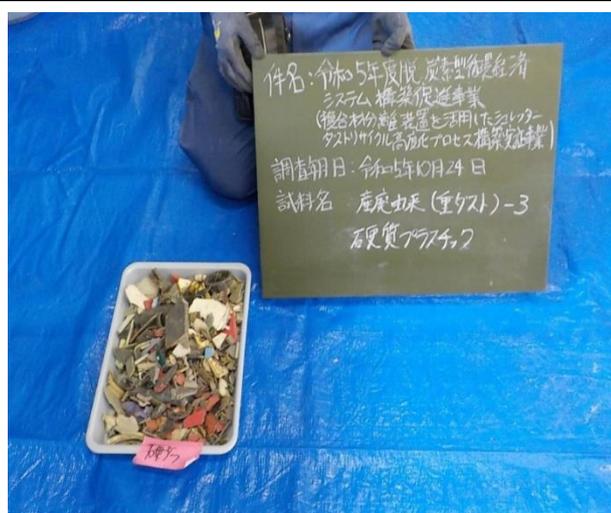
No.	12
試料	産廃由来 (重ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月24日



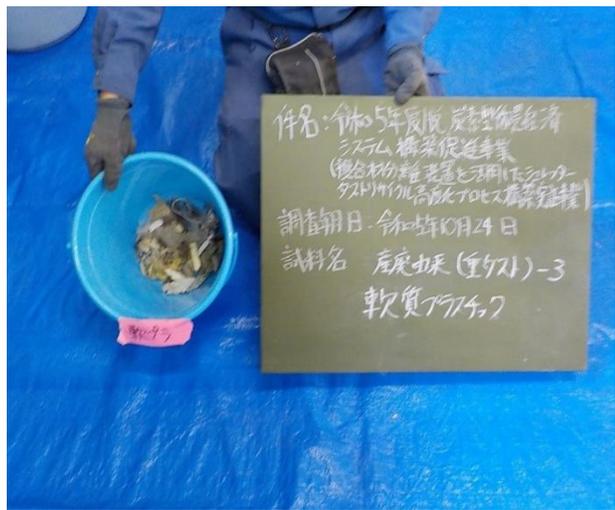
No.	13
試料	産廃由来 (重ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月24日



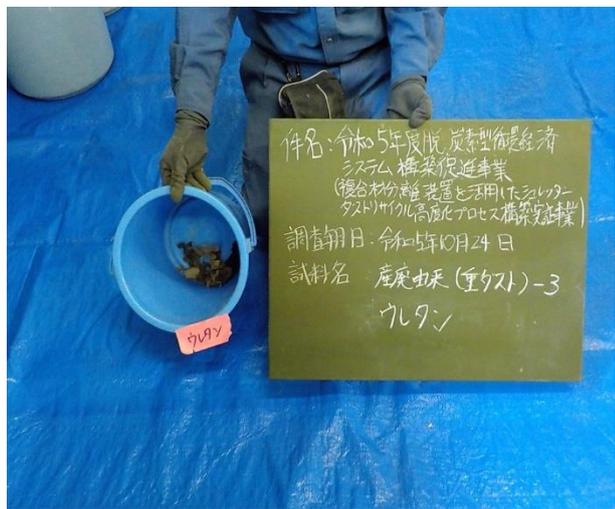
No.	14
試料	産廃由来 (重ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	15
試料	産廃由来 (重ダスト) -3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	16
試料	産廃由来 (重ダスト) -6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月24日



No.	17
試料	産廃由来 (重ダスト) -3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月24日

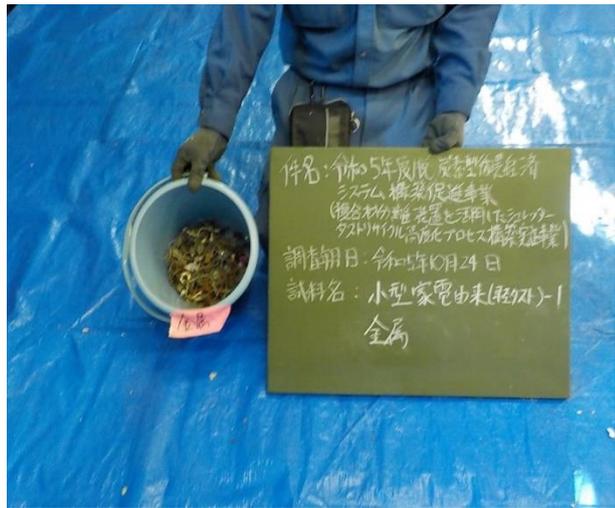


3. 小型家電由来（軽ダスト）

No.	1	
試料	小電由来（軽ダスト）	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月24日	

No.	2	
試料	小電由来（軽ダスト）	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月24日	

No.	3
試料	小電由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月24日



No.	4
試料	小電由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	5
試料	小電由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月24日



No.	6
試料	小電由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月24日



No.	7
試料	小電由来 (軽ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月24日



No.	8
試料	小電由来 (軽ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月24日



No.	9	
試料	小電由来（軽ダスト）-2	
撮影状況	硬質プラスチック	
採取日	令和5年10月24日	

No.	10	
試料	小電由来（軽ダスト）-2	
撮影状況	軟質プラスチック	
採取日	令和5年10月24日	

No.	11	
試料	小電由来（軽ダスト）-2	
撮影状況	ウレタン	
採取日	令和5年10月24日	

No.	12
試料	小電由来 (軽ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月24日



No.	13
試料	小電由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月25日



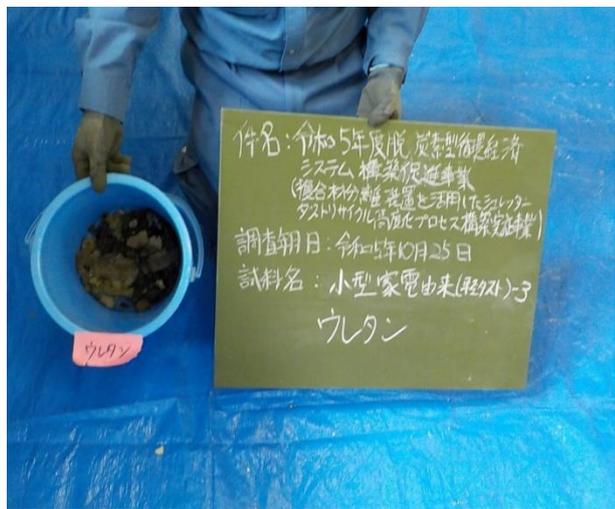
No.	14
試料	小電由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



No.	15
試料	小電由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



No.	16
試料	小電由来 (軽ダスト) -6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月25日



No.	17
試料	小電由来 (軽ダスト) -3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月25日

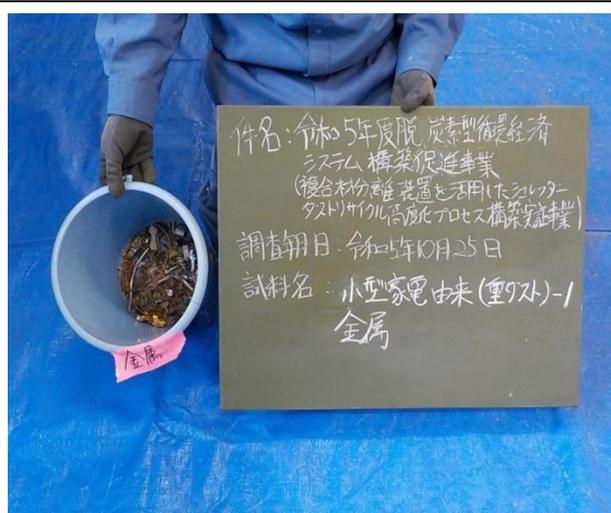


4. 小型家電由来（重ダスト）

No.	1	
試料	小電由来（重ダスト）	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月25日	

No.	2	
試料	小電由来（重ダスト）	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月25日	

No.	3
試料	小電由来 (重ダスト) -1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月25日



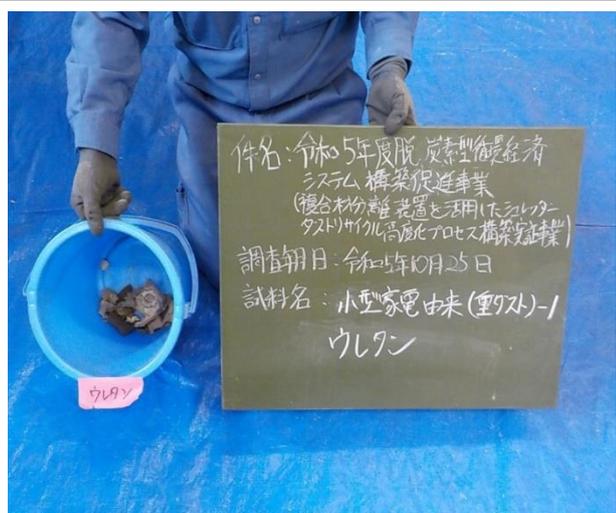
No.	4
試料	小電由来 (重ダスト) -1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



No.	5
試料	小電由来 (重ダスト) -1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



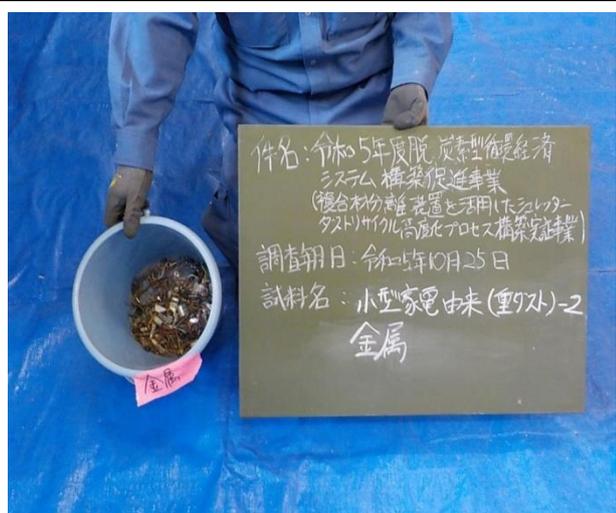
No.	6
試料	小電由来 (重ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月25日



No.	7
試料	小電由来 (重ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月25日



No.	8
試料	小電由来 (重ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月25日



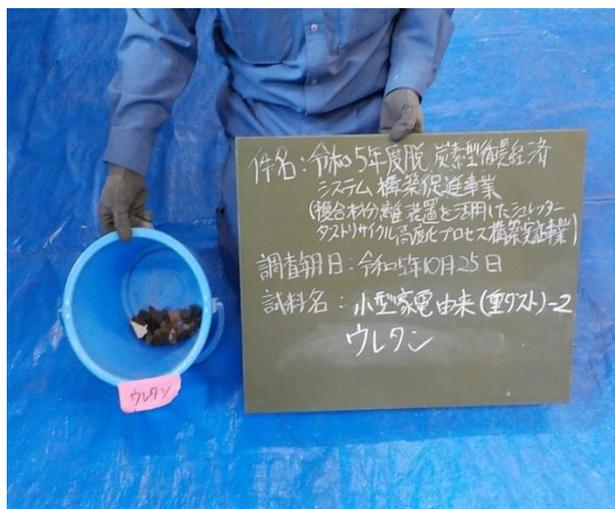
No.	9
試料	小電由来 (重ダスト) -2
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



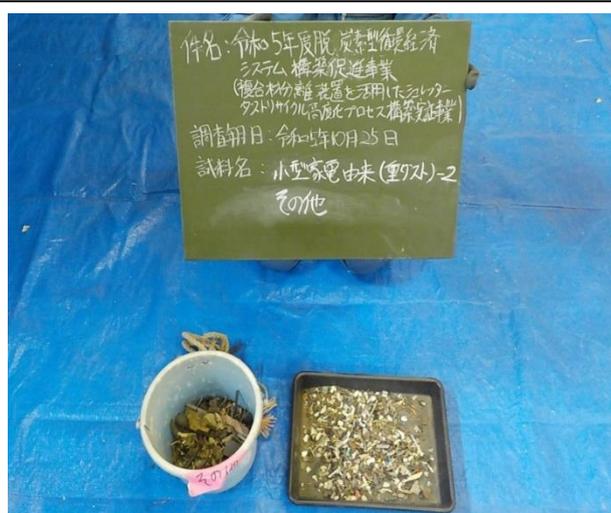
No.	10
試料	小電由来 (重ダスト) -2
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



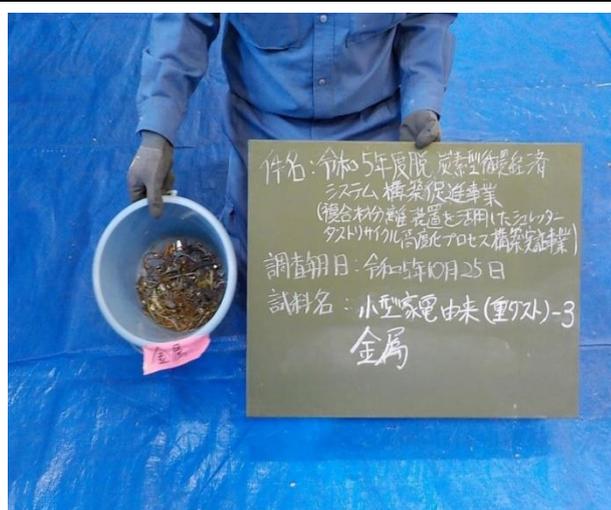
No.	11
試料	小電由来 (重ダスト) -2
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月25日



No.	12
試料	小電由来 (重ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月25日



No.	13
試料	小電由来 (重ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月25日



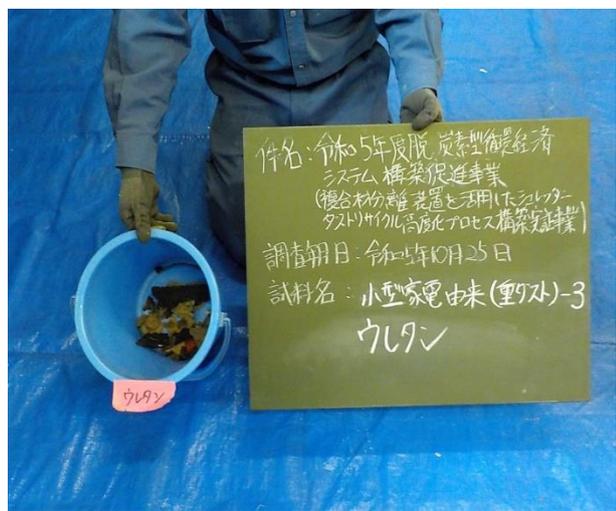
No.	14
試料	小電由来 (重ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



No.	15
試料	小電由来 (重ダスト) -3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月25日



No.	16
試料	小電由来 (重ダスト) -6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月25日



No.	17
試料	小電由来 (重ダスト) -3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月25日



5. ASR（軽ダスト）

No.	1	
試料	小電由来（軽ダスト）	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月23日	

No.	2	
試料	ASR（軽ダスト）	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月23日	

No.	3
試料	ASR (軽ダスト) -1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



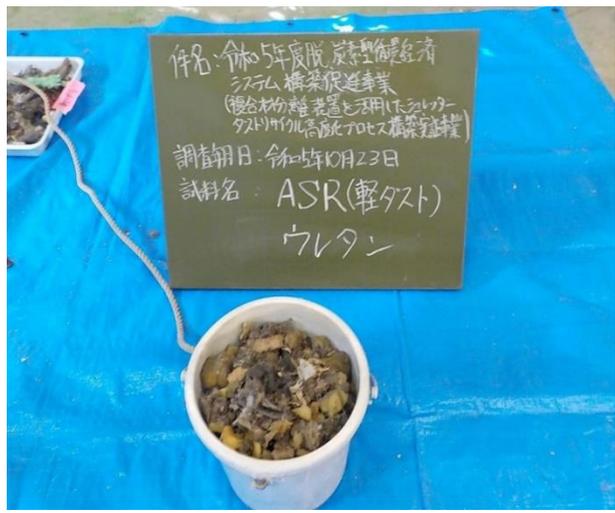
No.	4
試料	ASR (軽ダスト) -1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	5
試料	ASR (軽ダスト) -1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	6
試料	ASR (軽ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	7
試料	ASR (軽ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



No.	8
試料	ASR (軽ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



No.	9
試料	ASR (軽ダスト) -2
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	10
試料	ASR (軽ダスト) -2
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	11
試料	ASR (軽ダスト) -2
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	12
試料	ASR (軽ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



No.	13
試料	ASR (軽ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月23日



No.	14
試料	ASR (軽ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	15
試料	ASR (軽ダスト) -3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月23日



No.	16
試料	ASR (軽ダスト) -6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月23日



No.	17
試料	ASR (軽ダスト) -3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月23日



6. ASR (重ダスト)

No.	1	
試料	ASR (重ダスト)	
撮影状況	全景	
採取日	令和5年10月26日	

No.	2	
試料	ASR (重ダスト)	
撮影状況	縮分状況	
採取日	令和5年10月26日	

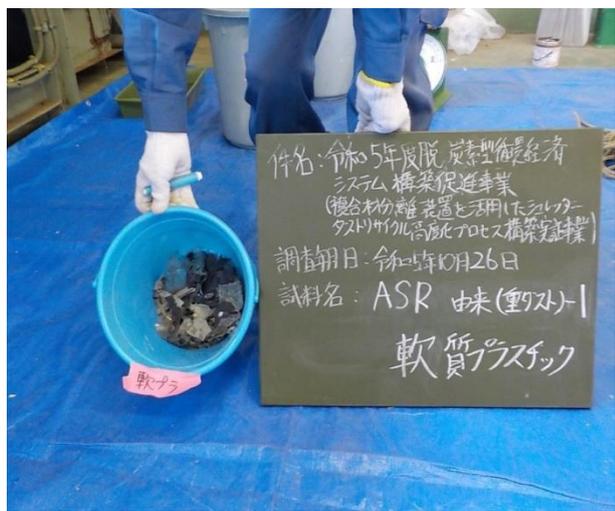
No.	3
試料	ASR (重ダスト) -1
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月26日



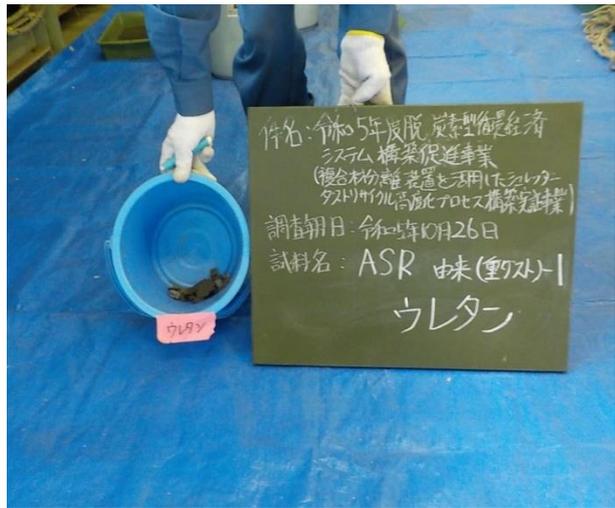
No.	4
試料	ASR (重ダスト) -1
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



No.	5
試料	ASR (重ダスト) -1
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



No.	6
試料	ASR (重ダスト) -1
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月26日



No.	7
試料	ASR (重ダスト) -1
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月26日



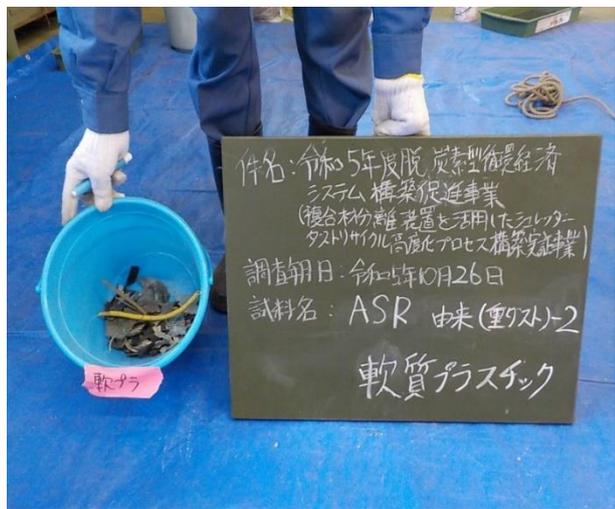
No.	8
試料	ASR (重ダスト) -2
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月26日



No.	9
試料	ASR (重ダスト) -2
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



No.	10
試料	ASR (重ダスト) -2
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



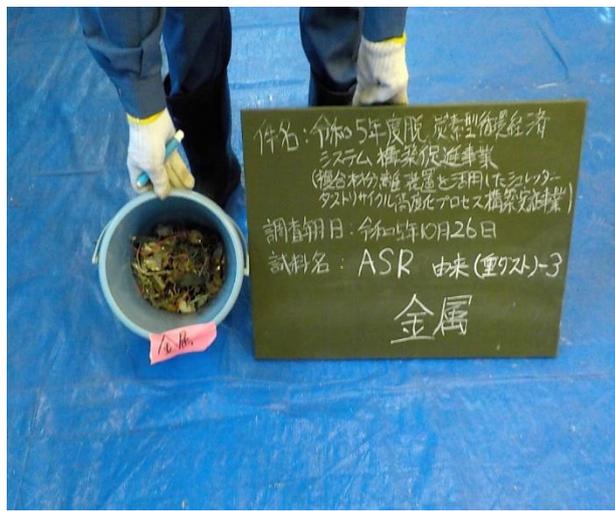
No.	11
試料	ASR (重ダスト) -2
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月26日



No.	12
試料	ASR (重ダスト) -2
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月26日



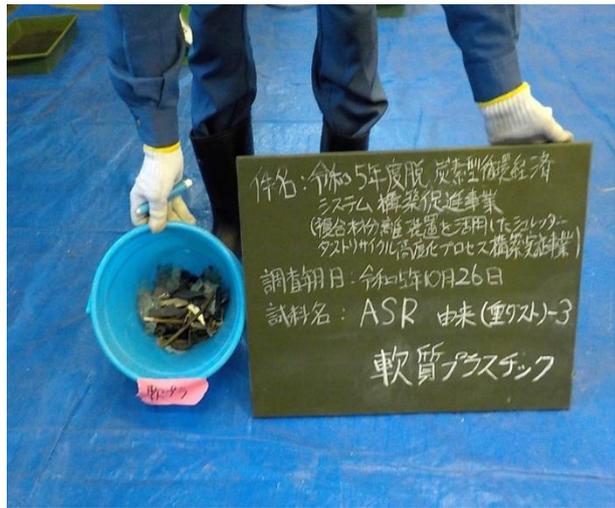
No.	13
試料	ASR (重ダスト) -3
撮影状況	金属
採取日	令和5年10月26日



No.	14
試料	ASR (重ダスト) -3
撮影状況	硬質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



No.	15
試料	ASR (重ダスト) -3
撮影状況	軟質プラスチック
採取日	令和5年10月26日



No.	16
試料	ASR (重ダスト) -6
撮影状況	ウレタン
採取日	令和5年10月26日



No.	17
試料	ASR (重ダスト) -3
撮影状況	その他
採取日	令和5年10月26日



III. マテリアルプラスチック原料の物性値の考え方

物性値	説明
シャルピー	成形性に大きく影響を及ぼす項目で、脆性破壊を起こす程度の目安を与える。一般的に大きな製品は数値が高く、容器・シートなどは低い。
引張降伏強さ	インパクト（瞬間）のエネルギー値。高いと折れにくく、低いと折れやすい。
引張破壊ひずみ	力を加え解き放った時に戻る強度。数値が大きいと固く、低いと柔らかい。
引張弾性率	引っ張った際にどれくらい伸びるかの指標。数値が大きいほどよく伸びる。
曲げ強度	曲げ荷重に対して亀裂や破壊が生じる力・応力のこと。どれくらいの曲げ応力に耐えられるかを示す値で、数値が大きいほど曲げ荷重にたいして強い。
曲げ弾性率	材料の変形のしにくさを示す物性値。材料が弾性変形をする場合、応力とひずみは比例関係となり、曲げ弾性率は直線の傾きを示す。
ロックウェル硬さ	材料の硬さを示す尺度の一つで、数値が高いと固く、小さいと柔らかい。他の物性値に着眼することが多いのであくまで参考値。
荷重たわみ温度	荷重をかけた状態で温度を上げ、たわみが一定以上になる温度。数値が高いと熱に強く、低いと弱い。
比重	材料の密度と水の密度の比。材料の体積当たりの質量は水の質量の何倍になるかを示す。

IV. ケミカル分析関係

1. 回収 MIX プラ分析 (FT-IR)

1.1 目的

各種シュレッダーダストを対象にこの度の実証施設である「複合材分離装置」を使って、分離回収したプラスチック類の特性を把握することを目的とする。

本節では FT・IR 測定による定性分析結果について報告する。

1.2 試料

以下の計 6 検体を用いる。なお、各試料を「II. 3.1.2 ケミカル分析の結果」にて冷凍粉碎したものを分析資料とした。

- ① 産廃由来軽ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
 - ② 産廃由来重ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
 - ③ 小電由来軽ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
 - ④ 小電由来重ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
 - ⑤ ASR 軽ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
 - ⑥ ASR 重ダスト浮遊物：粉碎物/オレフィン系プラスチック混合物
- ※分離回収にて分離溶媒としてトリエチレングリコールを使用。水洗浄を行っている。

1.3 条件

試料のプレスフィルムを作製し、透過法にて IR 測定した。

測定装置：FT/IR・4100（日本分光製 FT・IR）

測定方法：FT・IR/透過法/プレスフィルム

プレス条件：180℃×3min

分解能：4cm⁻¹

積算回数：16回

1.4 結果

推定された成分・官能基毎に以下に結果を記載する。

(1) PE（ポリエチレン）

試料①～⑥の IR スペクトル（図 IV-1～図 IV-6）から、PE 由来ピーク（730cm⁻¹、720cm⁻¹：図 IV-7 参照）が認められた。

(2)PP (ポリプロピレン)

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、PP 由来ピーク ($1,167\text{cm}^{-1}$ 、 973cm^{-1} ; 図 IV-8 参照) が認められた。

(3)ニトリル

試料②～④の IR スペクトル (図 IV-2～図 IV-4) から、ニトリル由来ピーク ($2,240\text{cm}^{-1}$ 付近) が認められた。

(4)モノ置換ベンゼン環

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、モノ置換ベンゼン環由来ピーク (760cm^{-1} 付近、 700cm^{-1} 付近) が認められ、スチレン系ポリマー由来と推定される。試料①及び⑤～⑥は、例えば PS (図 IV-9 参照) 由来の可能性が考えられ、試料②～④は、前述のニトリル由来ピークと併せて、例えば ABS (図 IV-10) 由来の可能性が考えられた。複数のスチレン系ポリマーが混在する可能性も考えられる。

(5)エステル

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、エステル由来ピーク ($1,740\sim 1,720\text{cm}^{-1}$ 付近) が認められた。ポリエステル (例: PET; 図 IV-11 参照) 由来や可塑剤などの添加剤由来の可能性が考えられた。

(6)アミド

試料②～⑥の IR スペクトル (図 IV-2～図 IV-6) から、アミド由来ピーク ($1,640\text{cm}^{-1}$ 付近、 $1,540\text{cm}^{-1}$ 付近) が認められた。ポリアミド (例: ナイロン 6; 図 IV-12 参照) 由来や脂肪酸アミド系滑剤などの添加剤由来の可能性が考えられた。

(7)タルク

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、タルク由来ピーク (図中※印; 図 IV-13 参照) が認められた。

(8)炭酸 Ca

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、炭酸 Ca 由来ピーク (図中※印; 図 IV-14 参照) が認められた。

(9)トリエチレングリコール及び水

試料①～⑥の IR スペクトル (図 IV-1～図 IV-6) から、エーテル由来ピーク ($1,150\sim 1,000\text{cm}^{-1}$ 付近) 及び水酸基由来ピーク ($3,600\sim 3,000\text{cm}^{-1}$ 付近) が認められ、トリエチレン

グリコール（図 IV-15 参照）由来及び水（図 IV-16 参照）由来と推定された。

1.5 特記事項

今回の結果は、IR スペクトルからわかる範囲での解析結果であり、ピークが重複して確認できていない可能性もある。例えば PVC（図 IV-17 参照）などは、IR 測定結果のみでは有無の判断が難しい。

溶媒分別を実施した後に各種分析することで、より確度の高い定性的かつ定量的分析結果が得られると考えられる。

表 IV-1 IR 分析結果

分類	試料 No.	①	②	③	④	⑤	⑥
	試料名	産廃由来		小電由来		ASR	
		軽	重	軽	重	軽	重
樹脂成分	PE	○	○	○	○	○	○
	PP	○	○	○	○	○	○
	ニトリル	—	○	○	○	—	—
	モノ置換ベンゼン環	○	○	○	○	○	○
その他 官能基	エステル	○	○	○	○	○	○
	アミド	—	○	○	○	○	○
無機物	タルク	○	○	○	○	○	○
	炭酸 Ca	○	○	○	○	○	○
残留溶媒等	トリエチレングリコール及び水	○	○	○	○	○	○

○：検出、—：不検出

※分離溶媒（トリエチレングリコール）及び水由来と推定されるピークが認められ、同一領域に検出される成分はピーク重複のため確認できていない可能性がある。

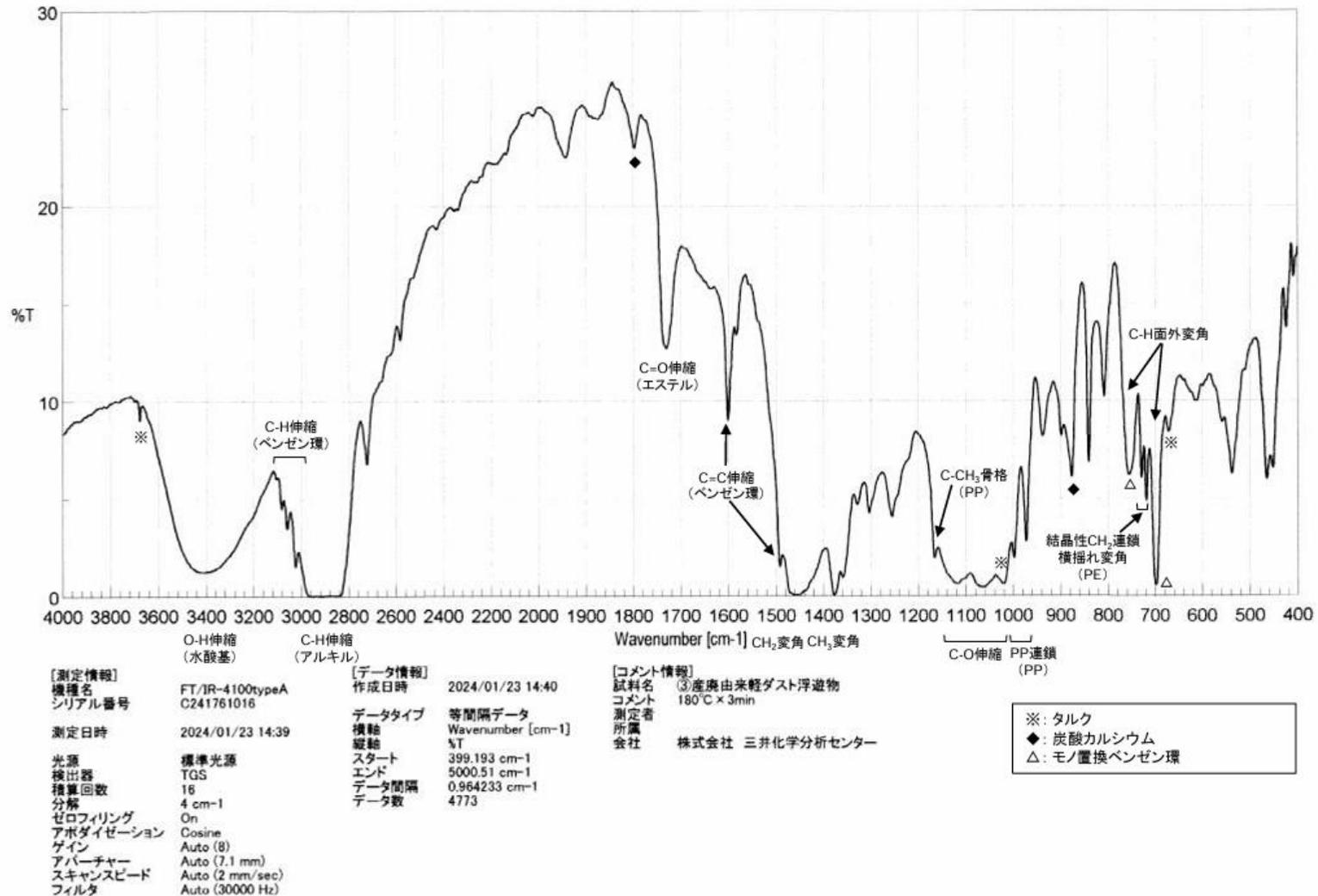


図 IV-1 ①産廃由来軽ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)

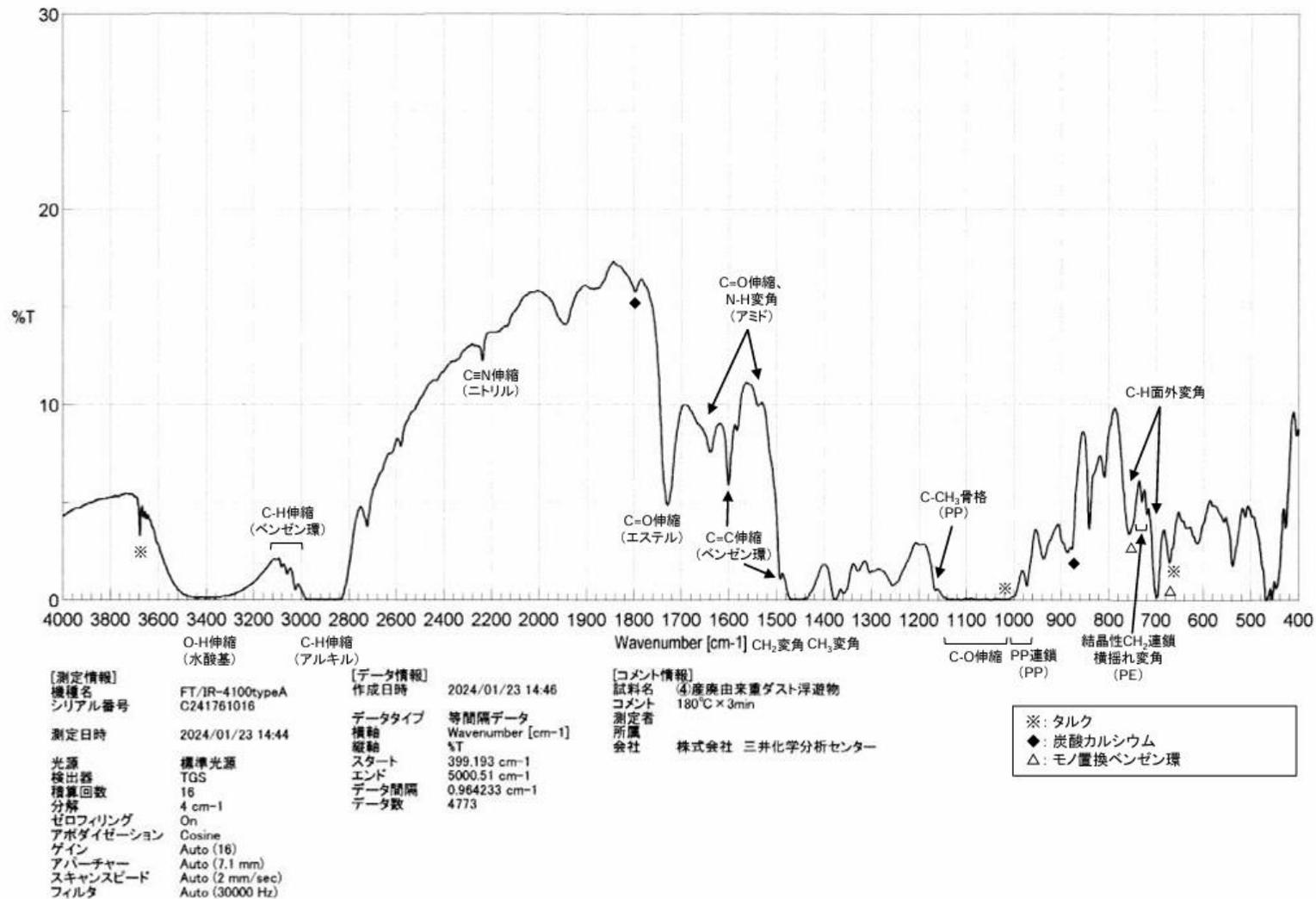


図 IV-2 ②産廃由来重ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)

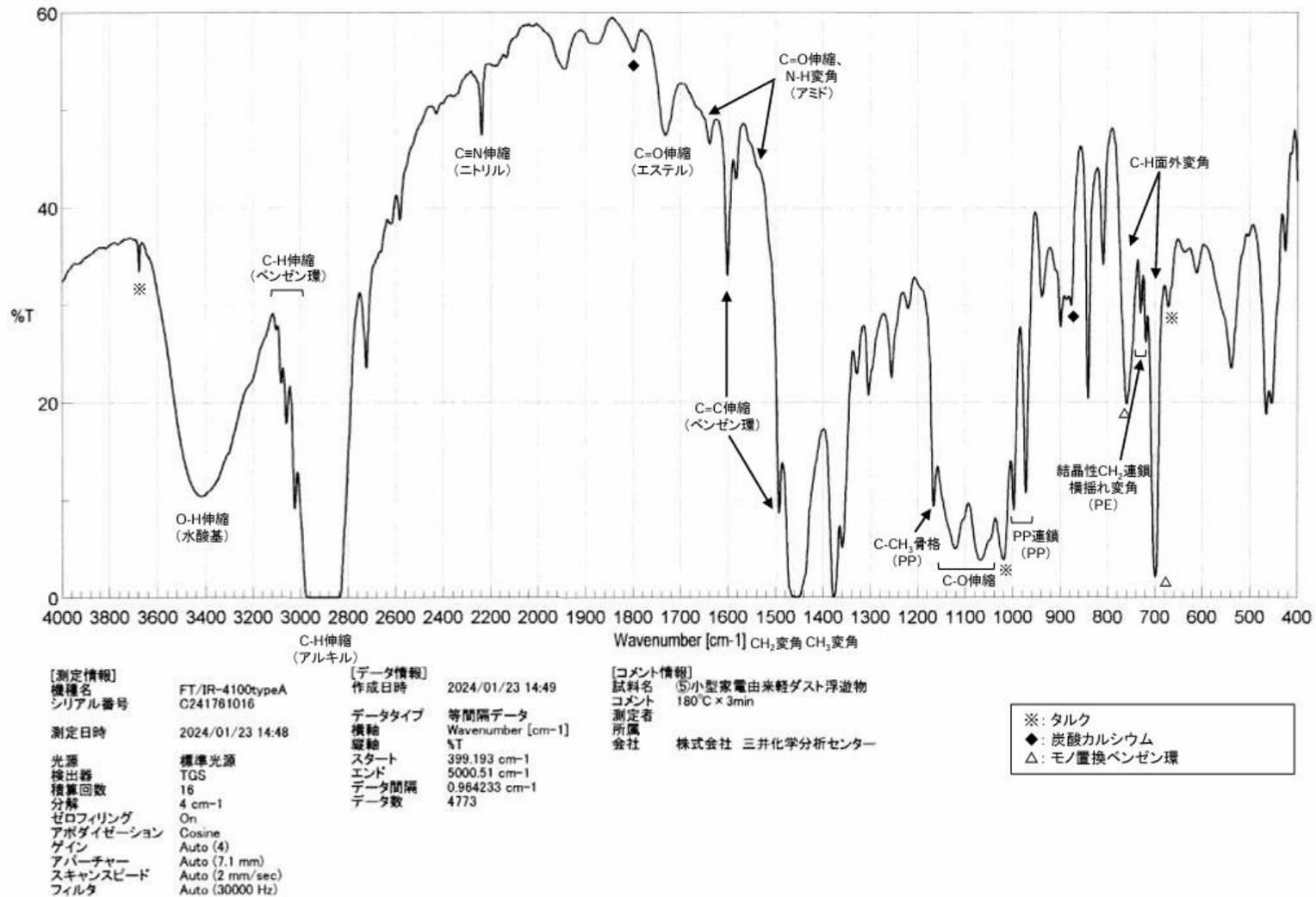


図 IV-3 ③小型家電由来軽ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)

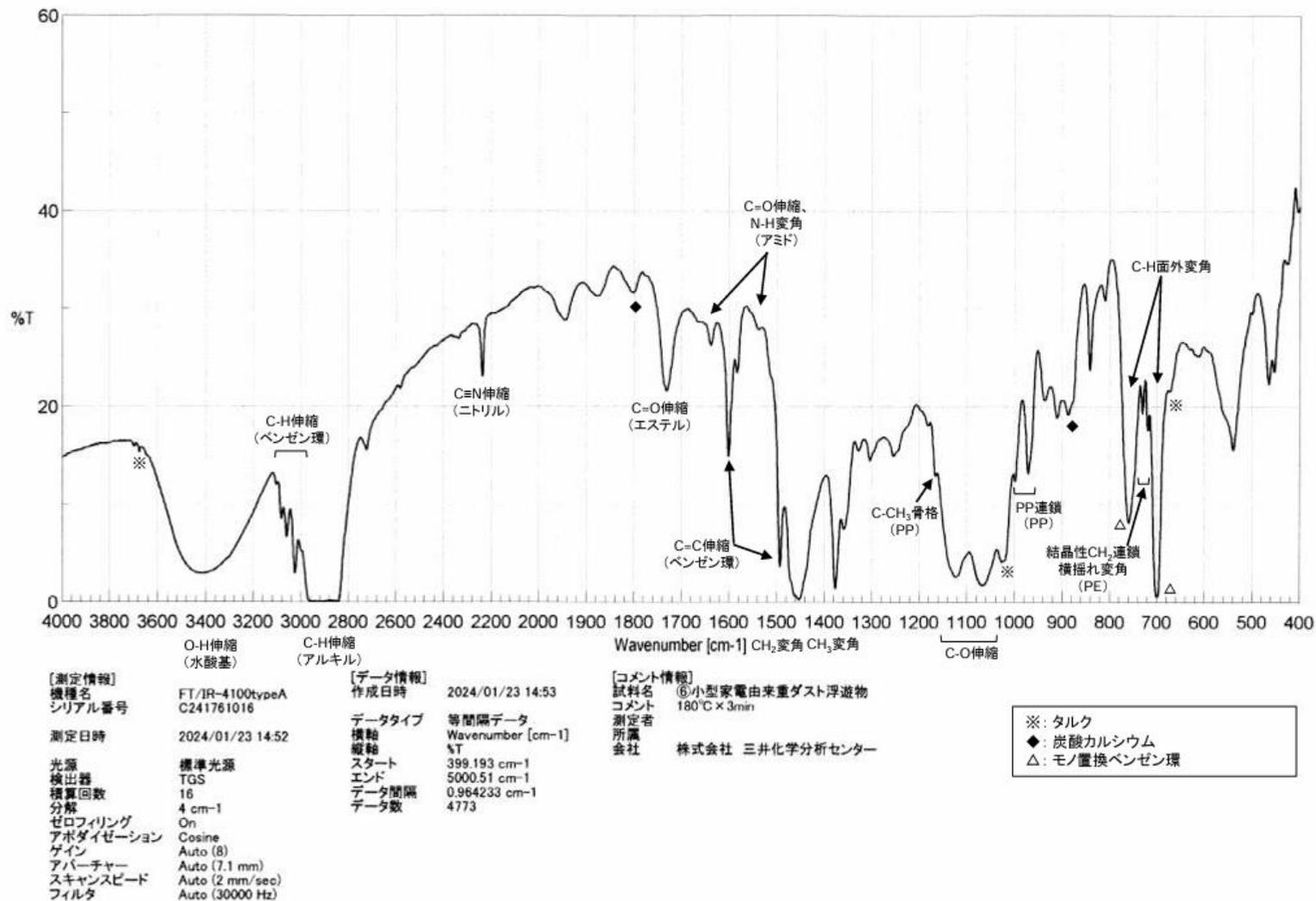


図 IV-4 ④小型家電由来重ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)

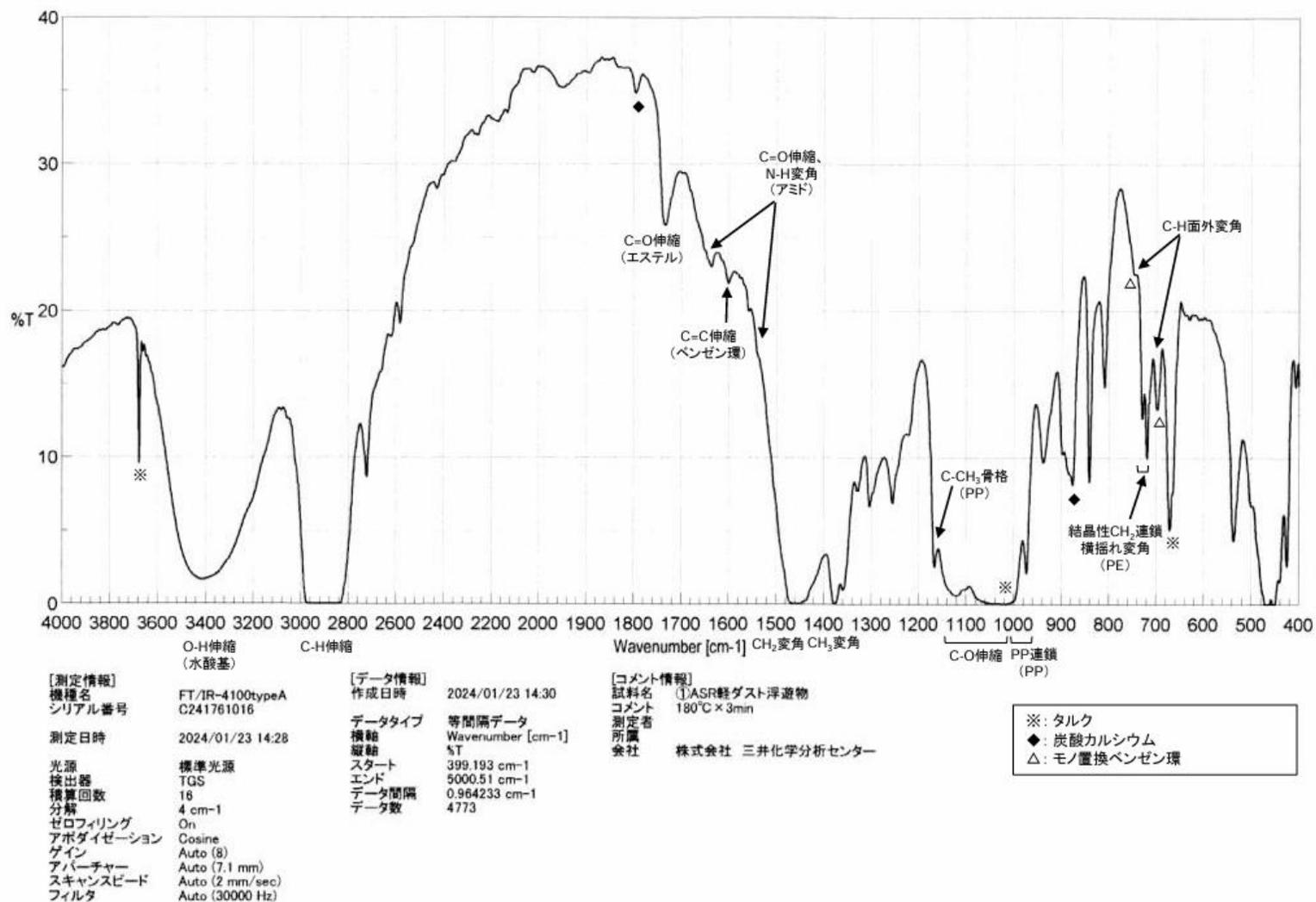


図 IV-5 ⑤ASR 軽ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)

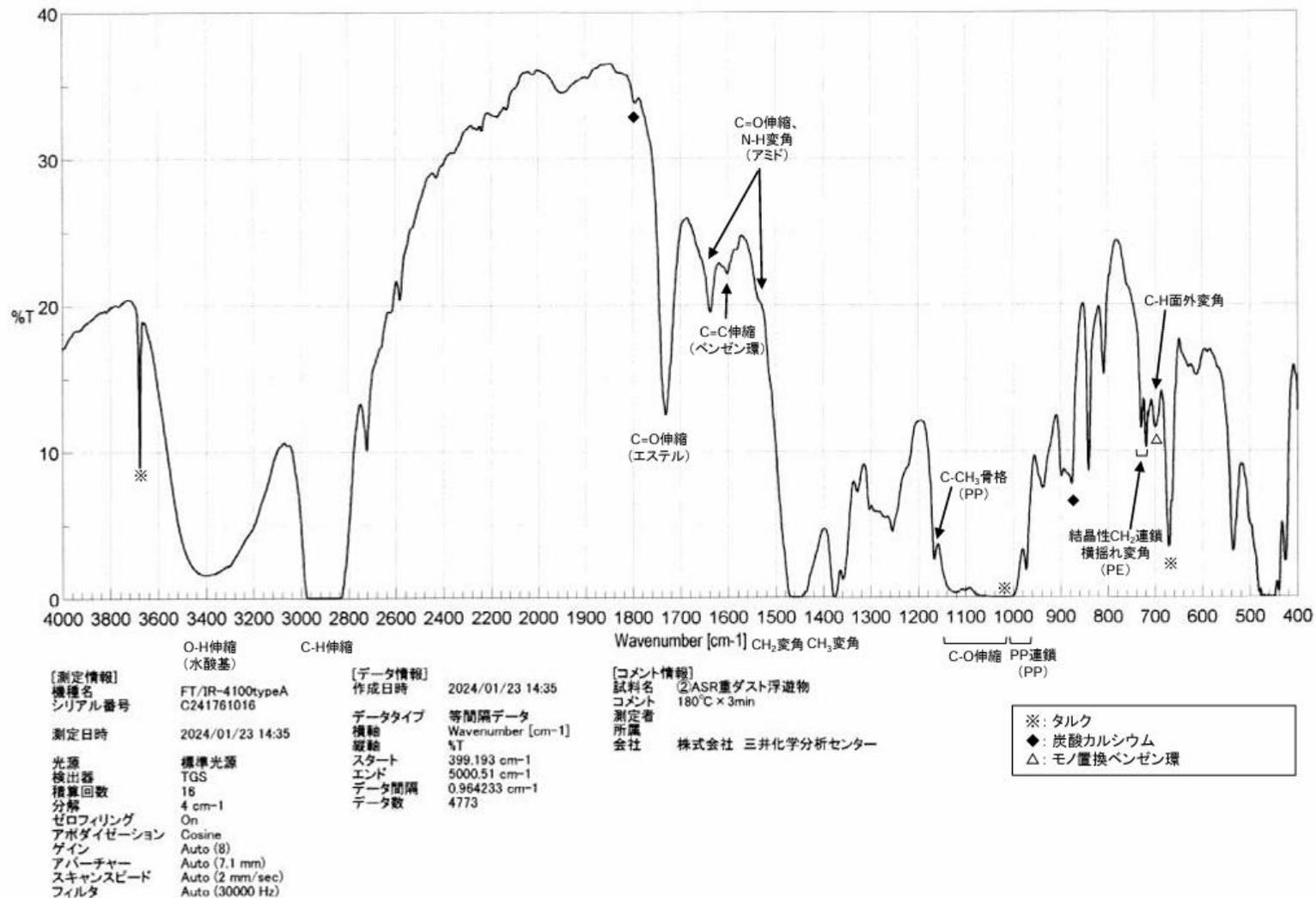
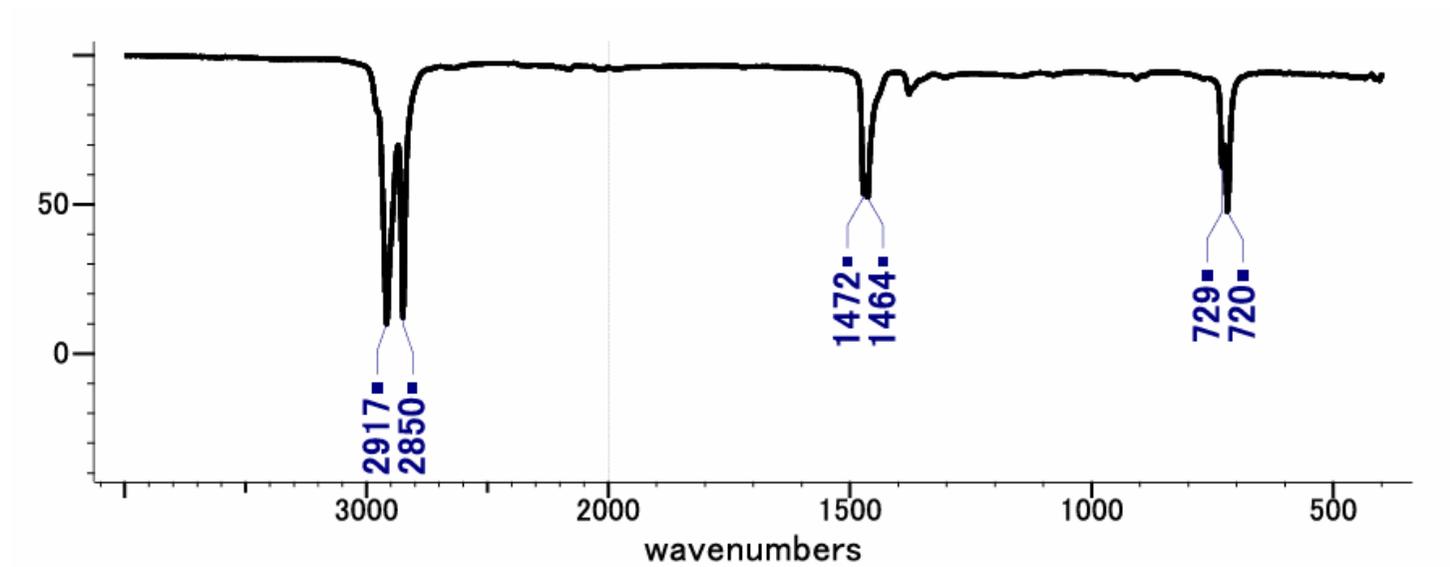
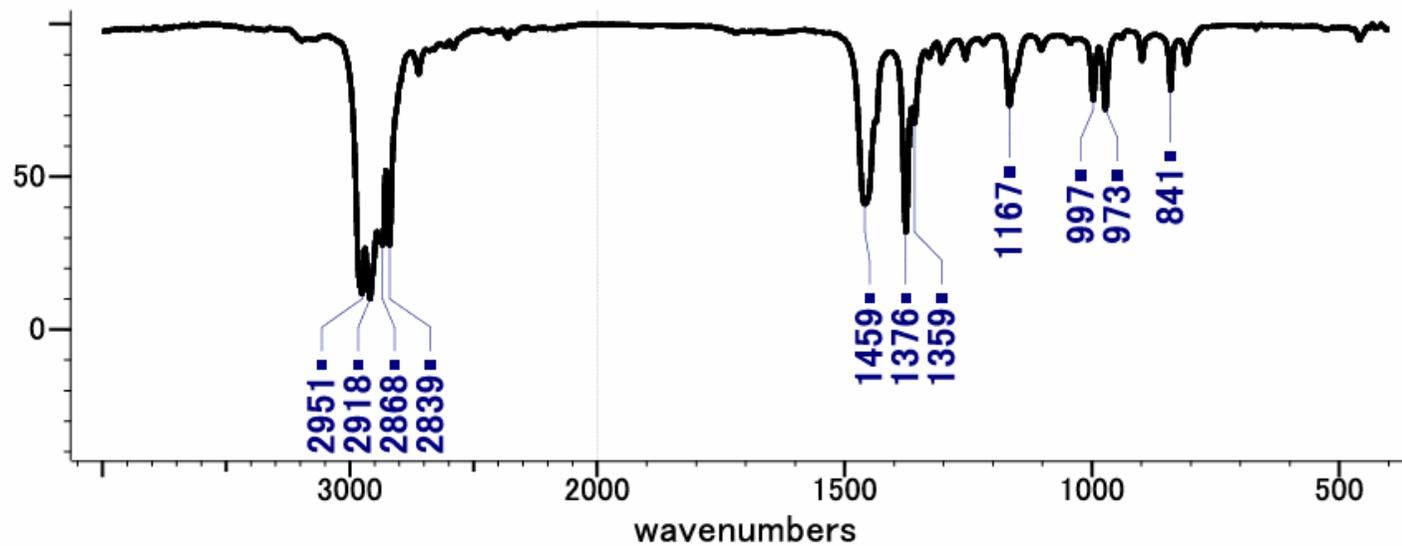


図 IV-6 ⑥ASR 軽ダスト浮遊物の IR スペクトル (FT-IR/透過法/プレスフィルム)



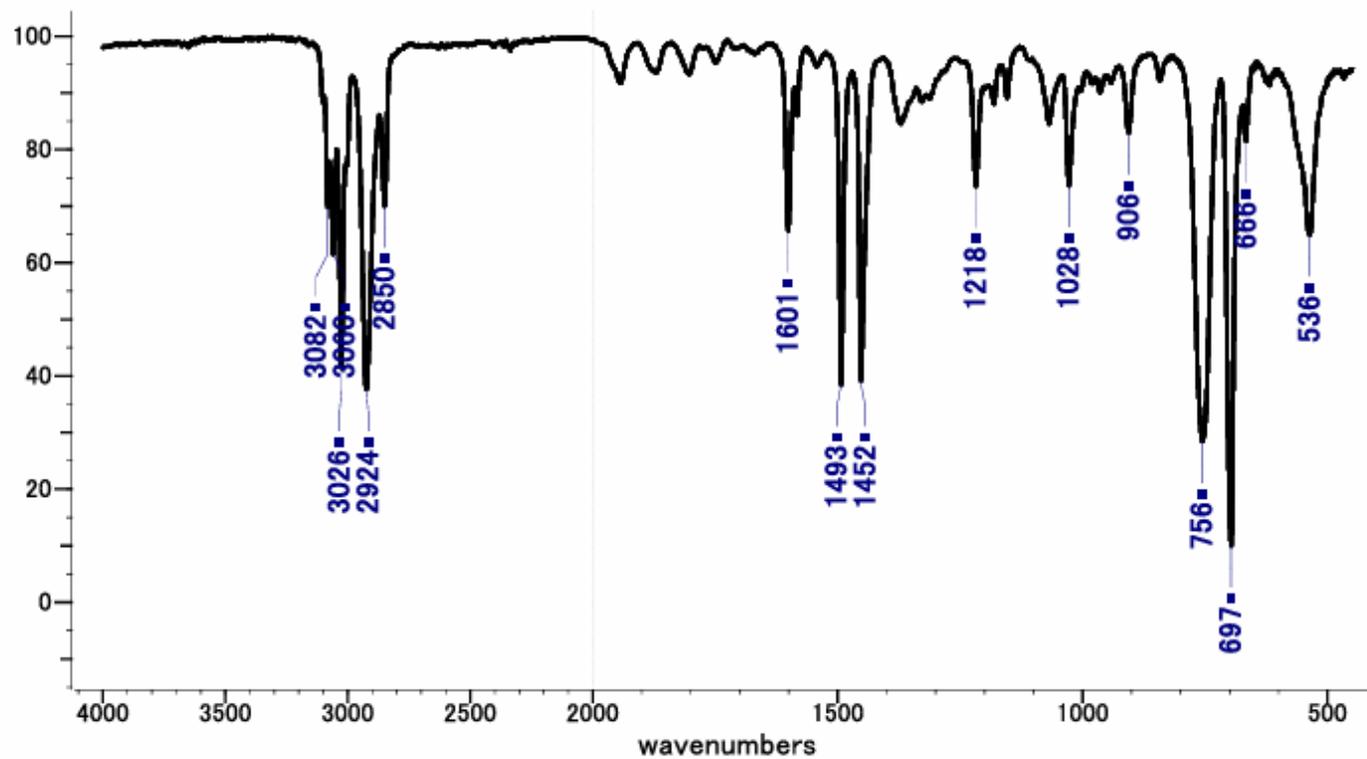
Name	名前
Name	Polyethylene
CAS Registry Number	9002-88-4
Catalog Number	560
Comments	white powder
Density	0.92 g/cm ³
Instrument Name	Bio-Rad FTS
Lot Number	290908003
Melting Point	92.0 - 105 ° C
Mol.Weight	1400 g/mol
Refractive Index	1.51
Softening Point	107
Source of Sample	Scientific Polymer Products, Inc.
Source of Spectrum	Forensic Spectral Research
Technique	ATR-Neat (DuraSampIR II)

図 IV-7 PE の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



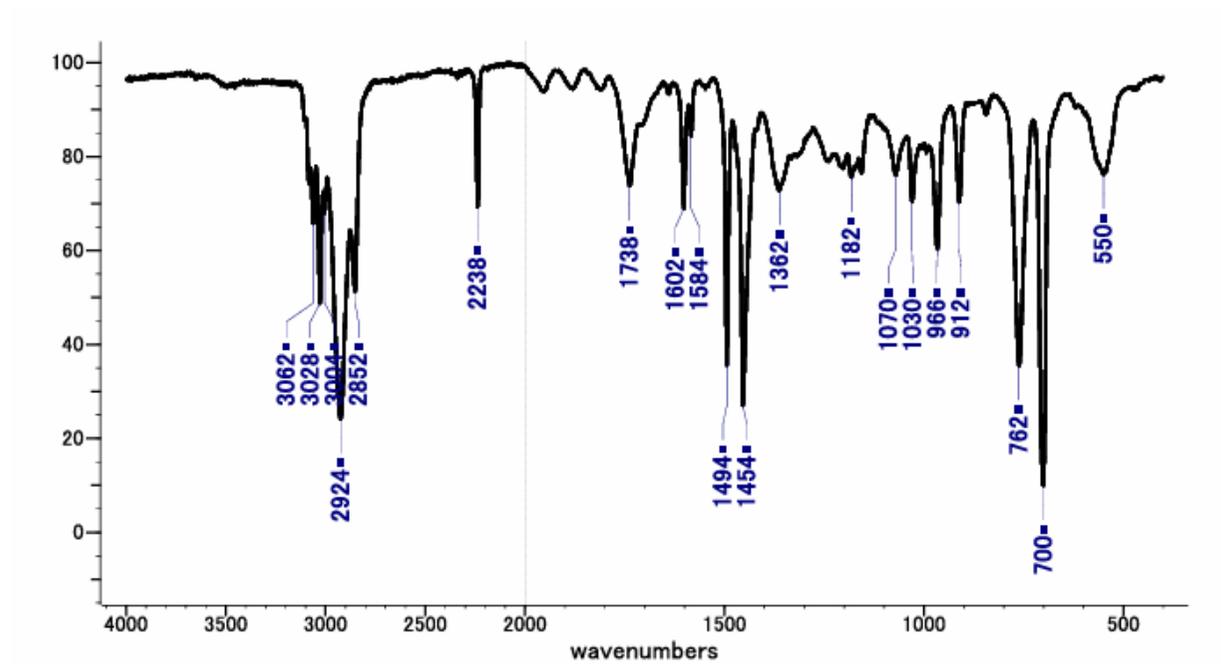
Name	ポリプロピレン
Name	POLYPROPYLENE
Classification	POLYPROPYLENES
Comments	Method Of Synthesis= slurry polymerization of propene with a MgCl ₂ -supported TiCl ₄ /C ₆ H ₅ COOC ₂ H ₅ catalyst, activated by Al(C ₂ H ₅) ₃ ; isotactic fraction (insoluble in boiling heptane) Chemical Description= isotactic Physical Description= white powder
Formula	C ₃ H ₆
Source of Sample	Y. Doi, Tokyo Institute of Technology, Research Laboratory of Resources Utilization, Yokohama
Technique	recrystallized film (25 micro-m) from the melt

図 IV-8 PP の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



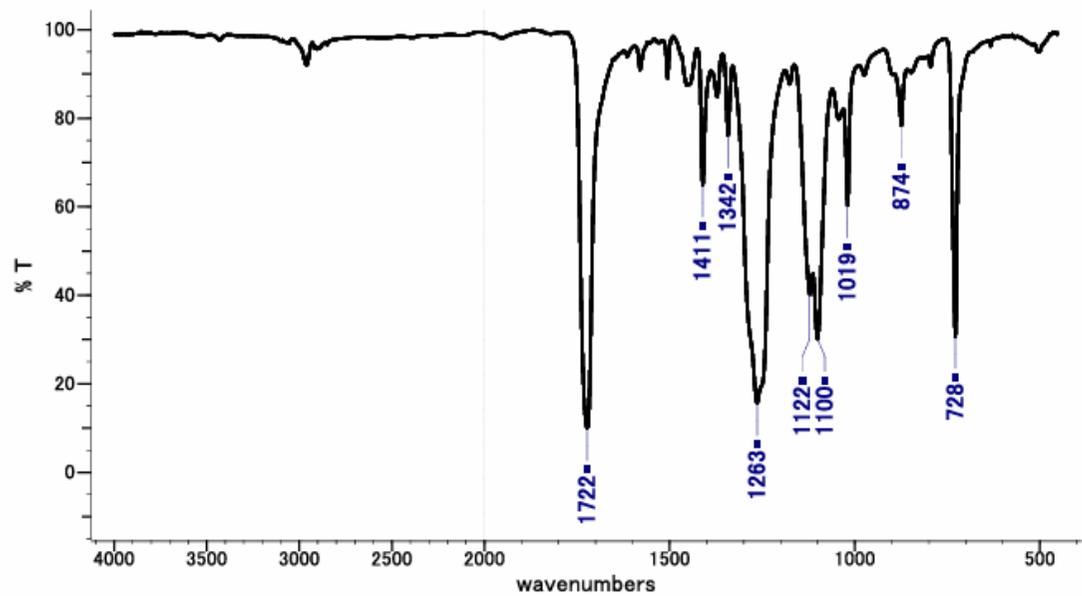
Name	値
Name	POLYSTYRENE
Classification	POLYSTYRENES
Source of Sample	ALDRICH CHEMICAL COMPANY, INC., MILWAUKEE, WISCONSIN
Technique	FILM (CAST FROM CHCl ₃)

図 IV-9 PS の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	poly(styrene-co-acrylonitrile-co-butadiene)
Formula	C ₈ H ₈ -C ₃ H ₃ N-C ₄ H ₆
Sample Description	APPEARANCE=greyish-white,opaque granules
Synonyms	Novodur PM/0323
Technique	heat-pressed film

図 IV-10 ABS の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	POLYESTER (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE), 30% GLASS FIBER
Formula	(C ₁₀ H ₈ O ₄) _n
Operating Conditions	Processing Temperature= 271C
Synonyms	POLYESTER (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) RTP 1105 FR
Technique	FILM (CAST FROM TRICHLOROETHANOL)

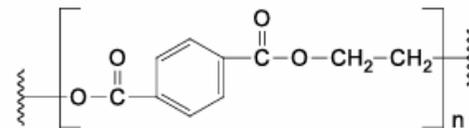
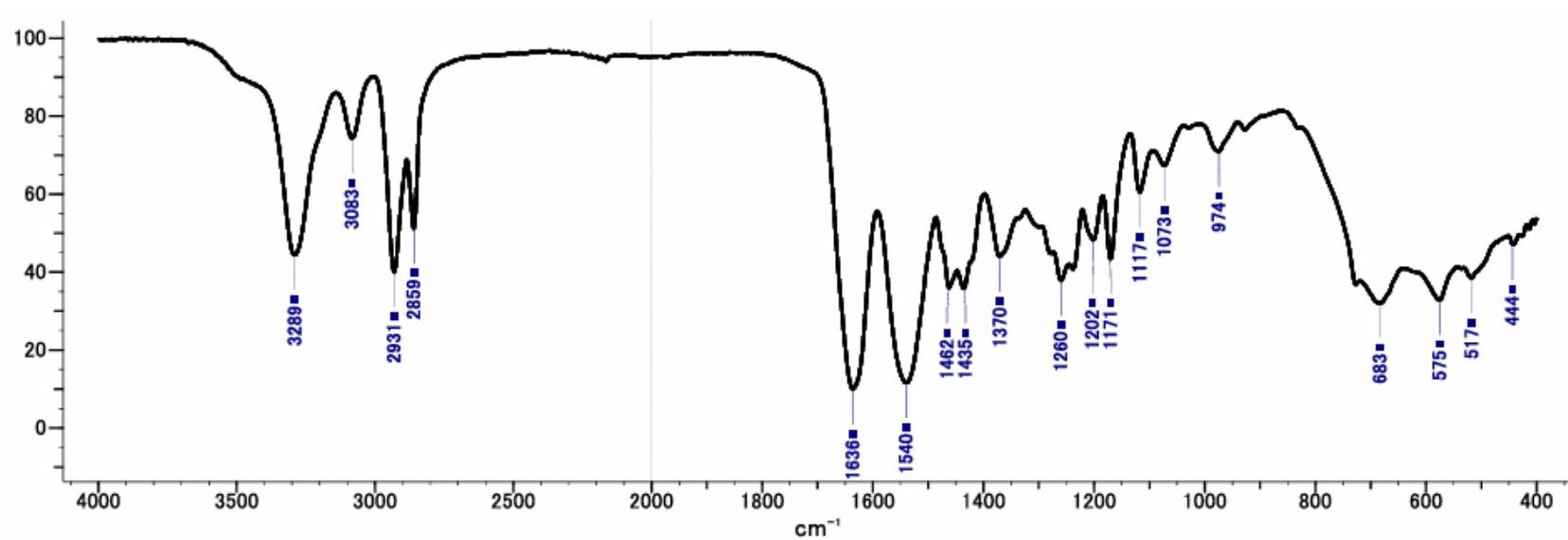


図 IV-11 PET の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	Nylon 6
CAS Registry Number	25038-54-4
Comments	clear pellets
Compound Type	Pure
Density	1.14 g/cm ³
Glass Transition	62.5 ° C
Melting Point	220 ° C
Molecular Weight	10000 g/mol
Refractive Index	1.53
Synonyms	Poly(caprolactam); Polyamide 6
Technique	ATR-Neat (DuraSampIR II)

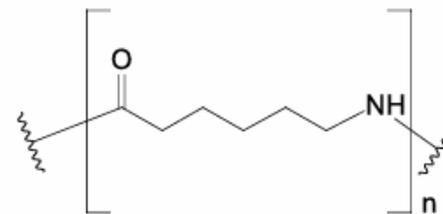
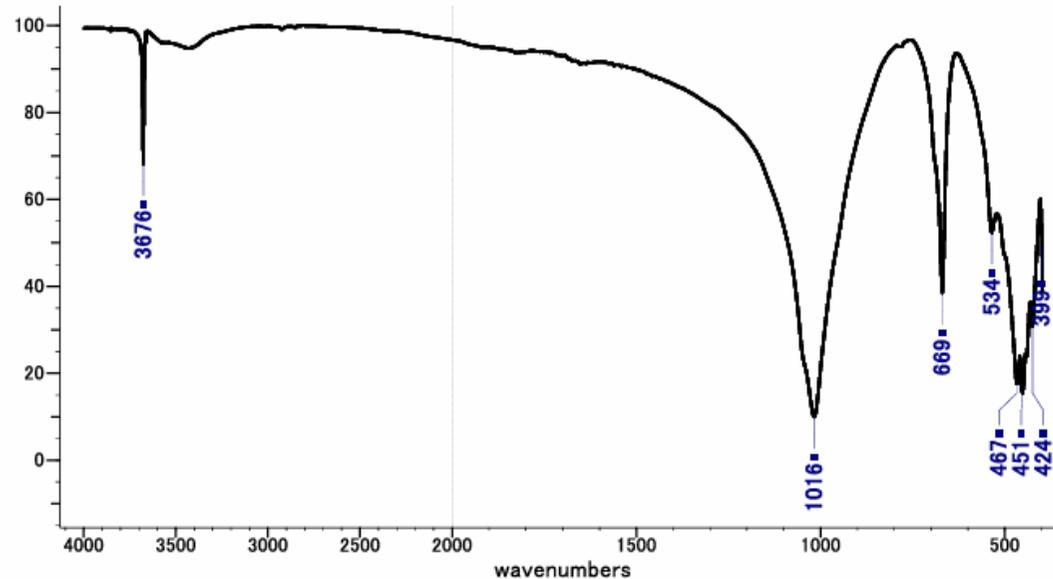


図 IV-12 ナイロン 6 の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	TALC
CAS Registry Number	14807-96-6
Comments	Physical Description= WHITE TO GRAYISH-WHITE CRYSTALLINE POWDER
Formula	H ₂ Mg ₃ O ₁₂ Si ₄
Instrument Name	DigiLab FTS-40
Molecular Weight	379.29
Sample Description	HYDROUS MAGNESIUM SILICATE
Synonyms	TALCUM; FRENCH CHALK; SOAPSTONE; STEATITE
Technique	FTIR
Use	DUSTING POWDER; FOR COSMETICS AND PHARMACEUTICALS; PAINT AND VARNISH PIGMENT; LUBRICATING MOLDS AND MACHINERY

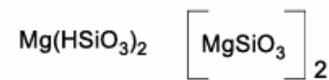
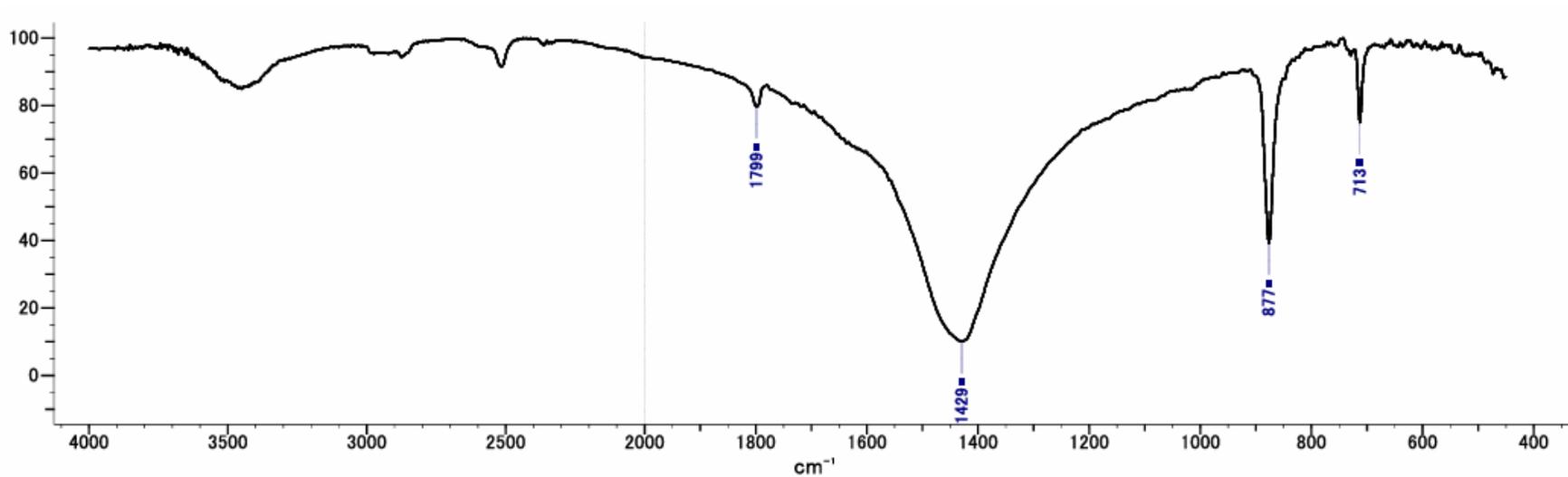


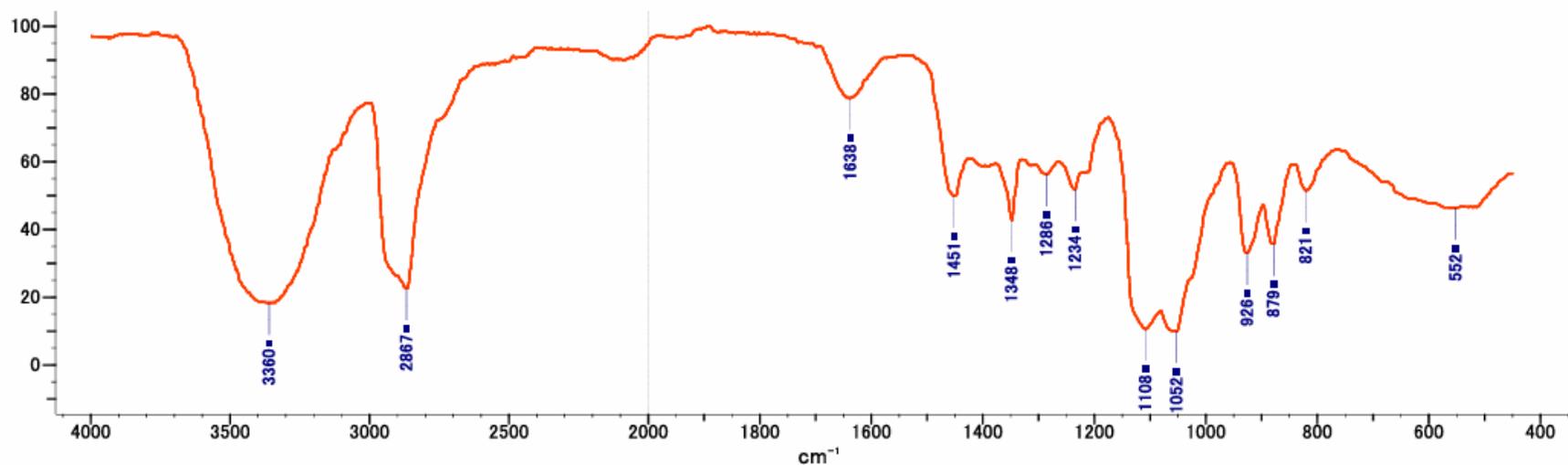
図 IV-13 タルクの標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	CALCIUM CARBONATE
CAS Registry Number	1317-65-3
Classification	MISCELLANEOUS MONOMERIC COMPOUNDS
Density	(Specific Gravity)= 2.70-2.71
Formula	CCaO3
Molecular Weight	100.09
Solution Data	pH= (SATURATED SOLUTION) 9.5
Source of Sample	Genstar Stone Products Company
Synonyms	MARBLE CALCIUM (II) CARBONATE (1:1) CHALK CAMEL-FIL LIMESTONE
Technique	KBr WAFER
Weight	22.57 lbs/gal



図 IV-14 炭酸カルシウムの標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	TRIETHYLENE GLYCOL
Boiling Point	287.4C/760MM
CAS Registry Number	112-27-6
Chemical Description	TRIETHYLENE GLYCOL
Density	(Specific Gravity)=(20/20C) 1.1254
Dynamic Viscosity	(20C) 47.8 CPS
Flash Point	(OC) 330F
Formula	C6H14O4
Melting Point	-7.2 C
Molecular Weight	150.175 g/mol
Optical Properties	Index of Refraction= 1.4550
Synonyms	GLYCOL
Technique	BETWEEN SALTS

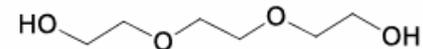
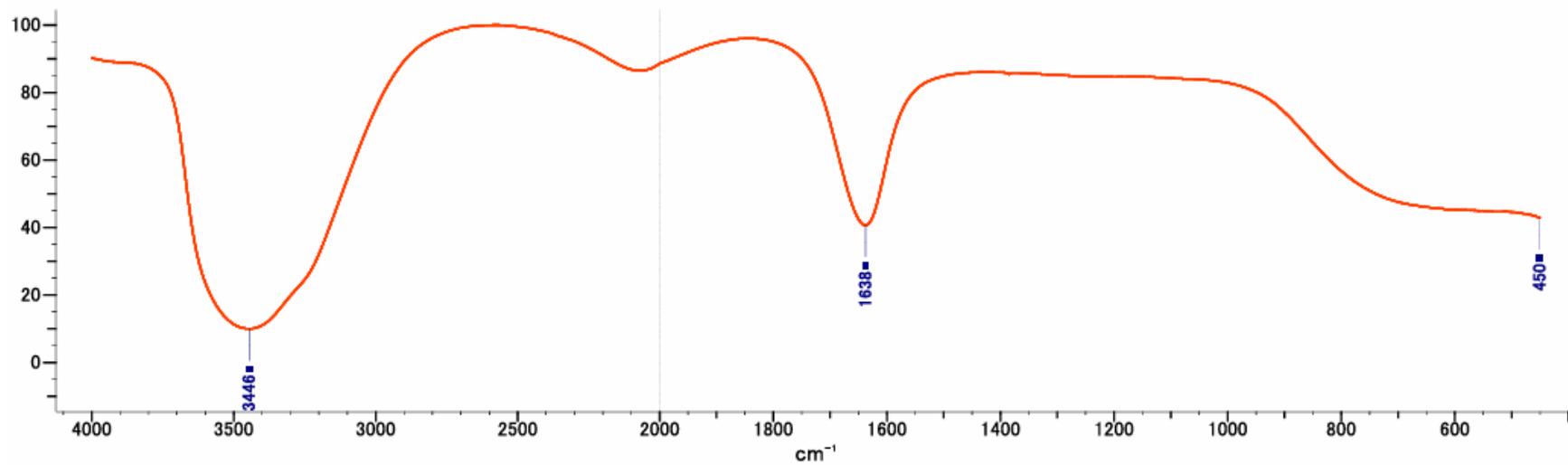


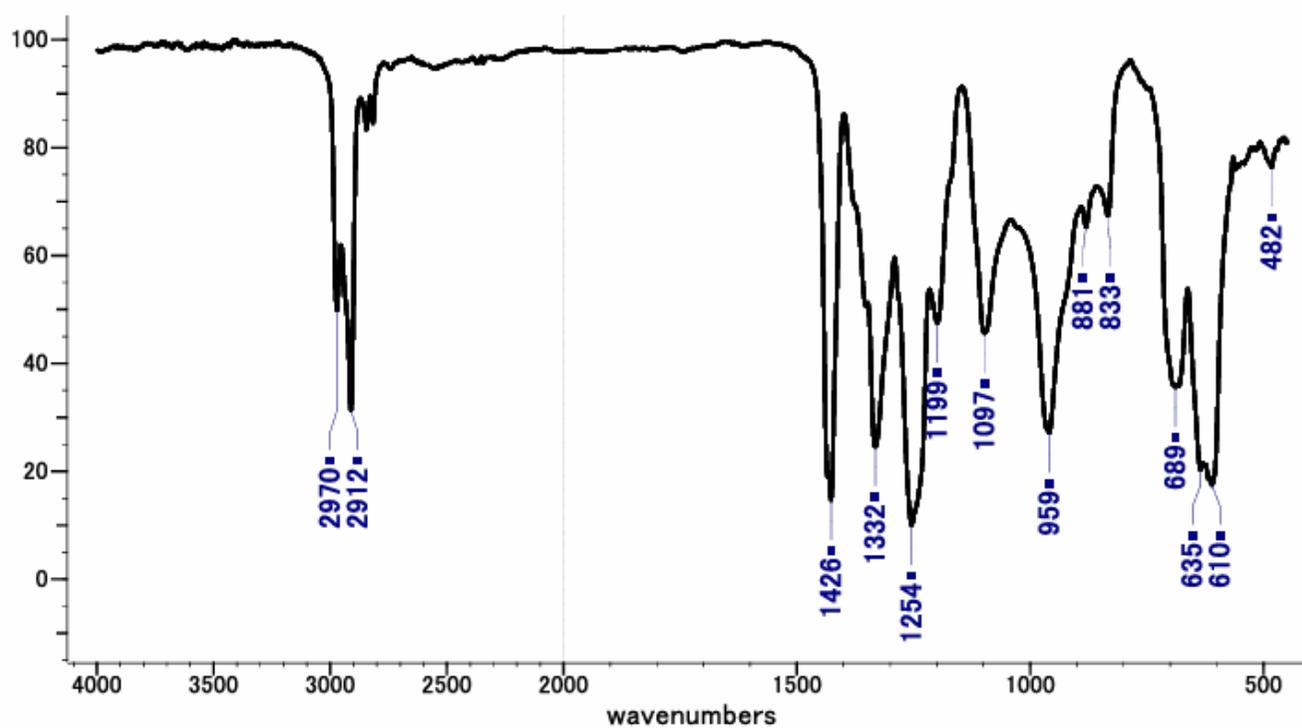
図 IV-15 トリエチレングリコールの標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	WATER
Boiling Point	100C
CAS Registry Number	7732-18-5
Comments	THE MOST UNIVERSAL SOLVENT IN EXISTENCE. NIOSH= ZC01100
Density	25C=0.9970474 G/ML
Dielectric Constant	78.39
Formula	H2O
Molecular Weight	18.015280
Optical Properties	Index of Refraction= 25C=1.3325029
Synonyms	ICE
Technique	NEAT
Vapor Pressure	23.758 TORR

H₂O

図 IV-16 水の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)



Name	値
Name	POLY(VINYL CHLORIDE), CHROMATOGRAPHIC GRADE
Classification	VINYL CHLORIDE HOMOPOLYMERS
Formula	(C ₂ H ₃ Cl) _n
Source of Sample	POLYSCIENCES, INC., WARRINGTON, PENNSYLVANIA
Synonyms	POLY(VINYL CHLORIDE)
Technique	FILM (CAST FROM ETHYLENE DICHLORIDE)

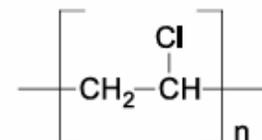


図 IV-17 PVC の標準 IR スペクトル (出典: Wiley 社 IR データベース)

2. 回収 MIX プラ分析 (XRF)

2.1 目的

各種シュレッダーダストを対象にこの度の実証施設である「複合材分離装置」を使って、分離回収したプラスチック類の特性を把握することを目的とする。対象とするシュレッダーダストは産業廃棄物由来、小型家電由来、ASR とし、それぞれ「軽ダスト」と「重ダスト」、合わせて6検体とする。

本節では XRF による元素分析の結果について報告する。

2.2 試料

以下の計6検体を用いる。

- ① 産廃由来軽ダスト浮遊物
- ② 産廃由来重ダスト浮遊物
- ③ 小電由来軽ダスト浮遊物
- ④ 小電由来重ダスト浮遊物
- ⑤ ASR 軽ダスト浮遊物
- ⑥ ASR 重ダスト浮遊物

2.3 実験

凍結粉碎した試料を錠剤成形し、サンプルホルダーに取り付けて測定した。測定に用いた装置及び測定条件は以下のとおりである。

分析方法：波長分散型 XRF

装置：リガク製 ZSX Primus IV

X線管球：Rh

絞り：10mm φ

測定雰囲気：真空

2.4 結果

XRF 測定結果（定性分析チャート）を図 IV-18～図 IV-26 に示す。測定結果から FP 法により半定量解析した結果を分析結果一覧表に示し、各試料の分析結果を表 IV-3～表 IV-8 に示す。FP 法は標準試料を用いず、理論計算により半定量値を算出する分析法のことで、試料を構成する元素のおおよその含有量を推定できる。全検出元素を 100%とし、各元素の質量%を示した。なお、XRF 分析は特性上、軽元素 (B、C、N、O) の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態(構成元素、分散状態等)によっては定量精度が低くなることがあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-2 分析結果一覧

[単位：mass%]

元素	①産廃由来 軽ダスト浮遊物	②産廃由来 重ダスト浮遊物	③小電由来 軽ダスト浮遊物	④小電由来 重ダスト浮遊物	⑤ASR 軽ダスト浮遊物	⑥ASR 重ダスト浮遊物
C	86.7912	76.3187	90.8701	89.0837	81.9388	75.5713
O	7.6813	10.8601	6.4025	7.8611	12.0410	14.8433
Na	0.0151	-	0.0340	0.0171	0.0401	0.0142
Mg	0.1674	0.8199	0.2049	0.1862	1.4287	1.4852
Al	0.3046	0.0719	0.0518	0.0842	0.1033	0.1565
Si	0.5502	1.2801	0.4374	0.3737	2.2922	2.7990
P	0.0090	0.0131	0.0122	0.0481	0.0129	0.0099
S	0.0627	0.0931	0.1042	0.0656	0.0386	0.0604
Cl	2.5731	8.9529	0.1187	0.4439	0.3040	2.9387
K	0.0255	0.0139	0.0110	0.0107	0.0312	0.0295
Ca	1.0961	0.7362	0.6001	0.6954	1.1683	1.4018
Ti	0.3694	0.2056	0.3675	0.4046	0.1701	0.2154
Cr	0.0145	0.0100	0.0121	0.0071	0.0071	0.0066
Mn	0.0145	-	0.0126	0.0093	0.0079	-
Fe	0.1913	0.1687	0.1833	0.3667	0.3455	0.2799
Ni	0.0022	-	0.0032	0.0036	0.0039	0.0085
Cu	0.0131	0.0051	0.0541	0.0049	0.0030	0.0148
Zn	0.0503	0.0193	0.0232	0.0206	0.0516	0.0381
Br	0.0056	0.0096	0.0470	0.0916	0.0034	0.0050
Sr	0.0015	0.0018	0.0042	0.0016	0.0013	0.0023
Sb	0.0058	-	0.0073	0.0072	-	-
Ba	0.0464	0.0232	0.4384	0.2045	-	0.1196
Pb	0.0093	0.3968	-	0.0086	0.0070	-

表 IV-3 ①産廃由来軽ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	86.7912	mass%	C -KA	18.4097
O	7.6813	mass%	O -KA	0.1011
Cl	2.5731	mass%	Cl-KA	11.4580
Ca	1.0961	mass%	Ca-KA	14.2486
Si	0.5502	mass%	Si-KA	4.2592
Ti	0.3694	mass%	Ti-KA	1.3590
Al	0.3046	mass%	Al-KA	2.4823
Fe	0.1913	mass%	Fe-KA	4.5851
Mg	0.1674	mass%	Mg-KA	0.2650
S	0.0627	mass%	S -KA	1.0726
Zn	0.0503	mass%	Zn-KA	4.0292
Ba	0.0464	mass%	Ba-LA	0.0509
K	0.0255	mass%	K -KA	0.3167
Na	0.0151	mass%	Na-KA	0.0103
Cr	0.0145	mass%	Cr-KA	0.1462
Mn	0.0145	mass%	Mn-KA	0.2228
Cu	0.0131	mass%	Cu-KA	0.7519
Pb	0.0093	mass%	Pb-LB1	0.6501
P	0.0090	mass%	P -KA	0.1650
Sb	0.0058	mass%	Sb-KA	0.4602
Br	0.0056	mass%	Br-KA	1.0063
Ni	0.0022	mass%	Ni-KA	0.1014
Sr	0.0015	mass%	Sr-KA	0.3767

XRF 分析は特性上、軽元素(B、C、N、O)の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態(構成元素、分散状態等)によっては定量精度が低くなることのあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-4 ②産廃由来重ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	76.3187	mass%	C -KA	12.4296
O	10.8601	mass%	O -KA	0.1497
Cl	8.9529	mass%	Cl-KA	28.7619
Si	1.2801	mass%	Si-KA	8.8279
Mg	0.8199	mass%	Mg-KA	1.2139
Ca	0.7362	mass%	Ca-KA	5.3919
Pb	0.3968	mass%	Pb-LB1	16.8770
Ti	0.2056	mass%	Ti-KA	0.4489
Fe	0.1687	mass%	Fe-KA	2.4424
S	0.0931	mass%	S -KA	1.3171
Al	0.0719	mass%	Al-KA	0.5317
Ba	0.0232	mass%	Ba-LA	0.0151
Zn	0.0193	mass%	Zn-KA	0.9489
K	0.0139	mass%	K -KA	0.0974
P	0.0131	mass%	P -KA	0.2041
Cr	0.0100	mass%	Cr-KA	0.0606
Br	0.0096	mass%	Br-KA	1.0391
Cu	0.0051	mass%	Cu-KA	0.1792
Sr	0.0018	mass%	Sr-KA	0.2626

XRF 分析は特性上、軽元素 (B、C、N、O) の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態 (構成元素、分散状態等) によっては定量精度が低くなることもあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-5 ③小電由来軽ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	90.8701	mass%	C -KA	21.2032
O	6.4025	mass%	O -KA	0.0821
Ca	0.6001	mass%	Ca-KA	10.3631
Ba	0.4384	mass%	Ba-LA	0.6622
Si	0.4374	mass%	Si-KA	3.4307
Ti	0.3675	mass%	Ti-KA	1.8643
Mg	0.2049	mass%	Mg-KA	0.3241
Fe	0.1833	mass%	Fe-KA	5.4784
Cl	0.1187	mass%	Cl-KA	0.5773
S	0.1042	mass%	S -KA	1.8382
Cu	0.0541	mass%	Cu-KA	3.8516
Al	0.0518	mass%	Al-KA	0.4491
Br	0.0470	mass%	Br-KA	10.1076
Na	0.0340	mass%	Na-KA	0.0168
Zn	0.0232	mass%	Zn-KA	2.3048
Mn	0.0126	mass%	Mn-KA	0.2470
P	0.0122	mass%	P -KA	0.2295
Cr	0.0121	mass%	Cr-KA	0.1587
K	0.0110	mass%	K -KA	0.1792
Sb	0.0073	mass%	Sb-KA	0.6352
Sr	0.0042	mass%	Sr-KA	1.2698
Ni	0.0032	mass%	Ni-KA	0.1842

XRF 分析は特性上、軽元素(B、C、N、O)の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態(構成元素、分散状態等)によっては定量精度が低くなることもあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-6 ④小電由来軽ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	89.0837	mass%	C -KA	19.3210
O	7.8611	mass%	O -KA	0.0977
Ca	0.6954	mass%	Ca-KA	10.9800
Cl	0.4439	mass%	Cl-KA	2.0272
Ti	0.4046	mass%	Ti-KA	1.8678
Si	0.3737	mass%	Si-KA	2.7661
Fe	0.3667	mass%	Fe-KA	10.4443
Ba	0.2045	mass%	Ba-LA	0.2815
Mg	0.1862	mass%	Mg-KA	0.2787
Br	0.0916	mass%	Br-KA	18.3412
Al	0.0842	mass%	Al-KA	0.7030
S	0.0656	mass%	S -KA	1.0927
P	0.0481	mass%	P -KA	0.8567
Zn	0.0206	mass%	Zn-KA	1.8796
Na	0.0171	mass%	Na-KA	0.0087
K	0.0107	mass%	K -KA	0.1589
Mn	0.0093	mass%	Mn-KA	0.1715
Pb	0.0086	mass%	Pb-LB1	0.6765
Sb	0.0072	mass%	Sb-KA	0.5790
Cr	0.0071	mass%	Cr-KA	0.0876
Cu	0.0049	mass%	Cu-KA	0.3214
Ni	0.0036	mass%	Ni-KA	0.1881
Sr	0.0016	mass%	Sr-KA	0.4409

XRF 分析は特性上、軽元素 (B、C、N、O) の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態 (構成元素、分散状態等) によっては定量精度が低くなることがあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-7 ⑤ASR 軽ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	81.9388	mass%	C -KA	16.1836
O	12.0410	mass%	O -KA	0.1627
Si	2.2922	mass%	Si-KA	15.6842
Mg	1.4287	mass%	Mg-KA	2.1086
Ca	1.1683	mass%	Ca-KA	15.4123
Fe	0.3455	mass%	Fe-KA	8.7500
Cl	0.3040	mass%	Cl-KA	1.1678
Ti	0.1701	mass%	Ti-KA	0.6348
Al	0.1033	mass%	Al-KA	0.7455
Zn	0.0516	mass%	Zn-KA	4.2705
Na	0.0401	mass%	Na-KA	0.0203
S	0.0386	mass%	S -KA	0.5403
K	0.0312	mass%	K -KA	0.3929
P	0.0129	mass%	P -KA	0.1931
Mn	0.0079	mass%	Mn-KA	0.1288
Cr	0.0071	mass%	Cr-KA	0.0750
Pb	0.0070	mass%	Pb-LB1	0.5136
Ni	0.0039	mass%	Ni-KA	0.1868
Br	0.0034	mass%	Br-KA	0.6272
Cu	0.0030	mass%	Cu-KA	0.1805
Sr	0.0013	mass%	Sr-KA	0.3578

XRF 分析は特性上、軽元素(B、C、N、O)の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態(構成元素、分散状態等)によっては定量精度が低くなることもあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

表 IV-8 ⑥ASR 重ダスト浮遊物の分析結果

成分	分析値	単位	分析線	X線強度
C	75.5713	mass%	C -KA	13.4484
O	14.8433	mass%	O -KA	0.2111
Cl	2.9387	mass%	Cl-KA	9.9038
Si	2.7990	mass%	Si-KA	18.2473
Mg	1.4852	mass%	Mg-KA	2.1251
Ca	1.4018	mass%	Ca-KA	13.8857
Fe	0.2799	mass%	Fe-KA	5.1398
Ti	0.2154	mass%	Ti-KA	0.6005
Al	0.1565	mass%	Al-KA	1.0875
Ba	0.1196	mass%	Ba-LA	0.0995
S	0.0604	mass%	S -KA	0.7798
Zn	0.0381	mass%	Zn-KA	2.3367
K	0.0295	mass%	K -KA	0.2805
Cu	0.0148	mass%	Cu-KA	0.6529
Na	0.0142	mass%	Na-KA	0.0083
P	0.0099	mass%	P -KA	0.1375
Ni	0.0085	mass%	Ni-KA	0.2991
Cr	0.0066	mass%	Cr-KA	0.0511
Br	0.0050	mass%	Br-KA	0.6943
Sr	0.0023	mass%	Sr-KA	0.4734

XRF 分析は特性上、軽元素(B、C、N、O)の感度が低いことや他元素の影響を受けるために、試料の状態(構成元素、分散状態等)によっては定量精度が低くなることもあるため、本分析結果は参考値としての扱いを推奨する。

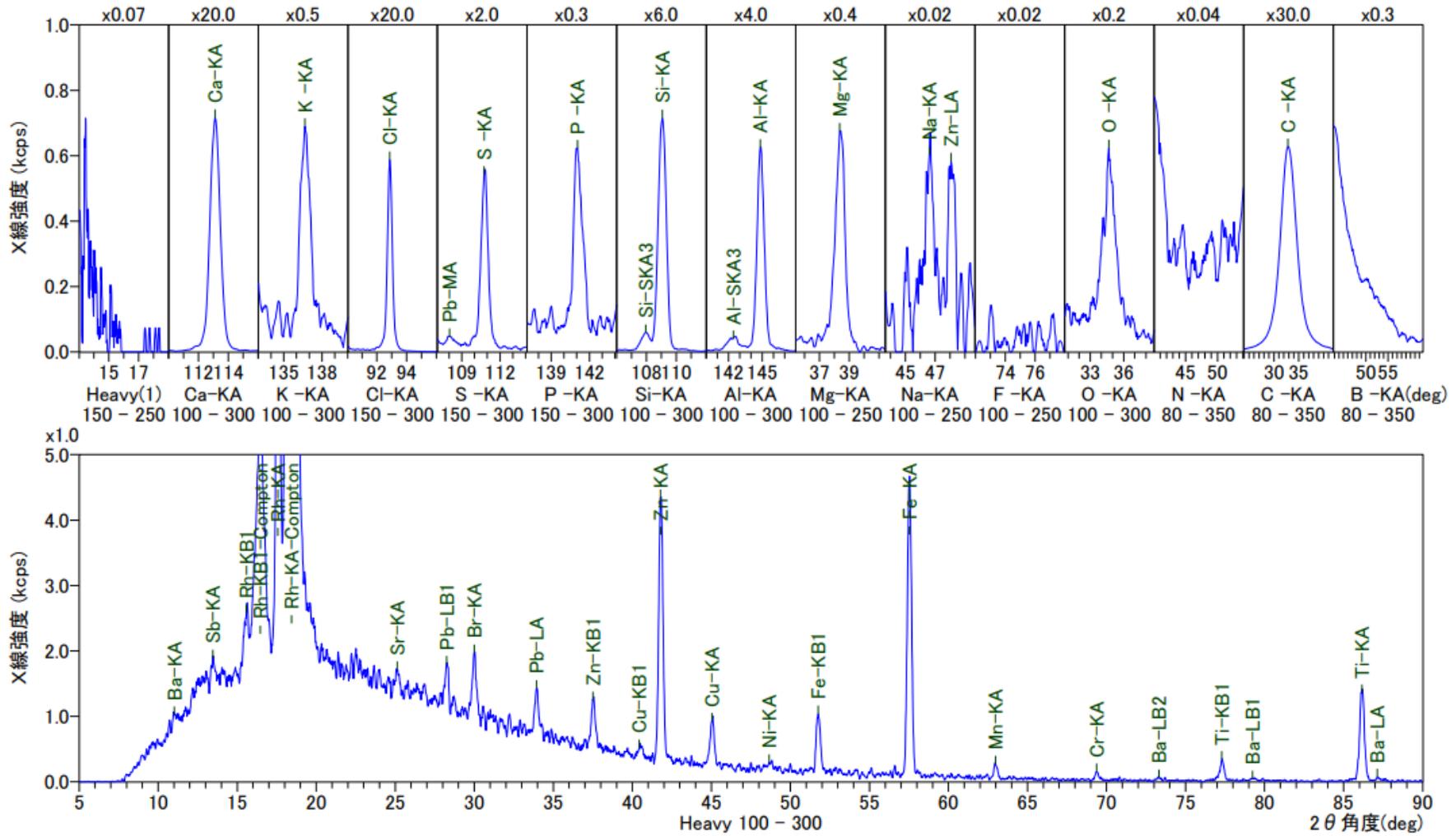


図 IV-18 ①産廃由来軽ダスト浮遊物の XRF 測定結果

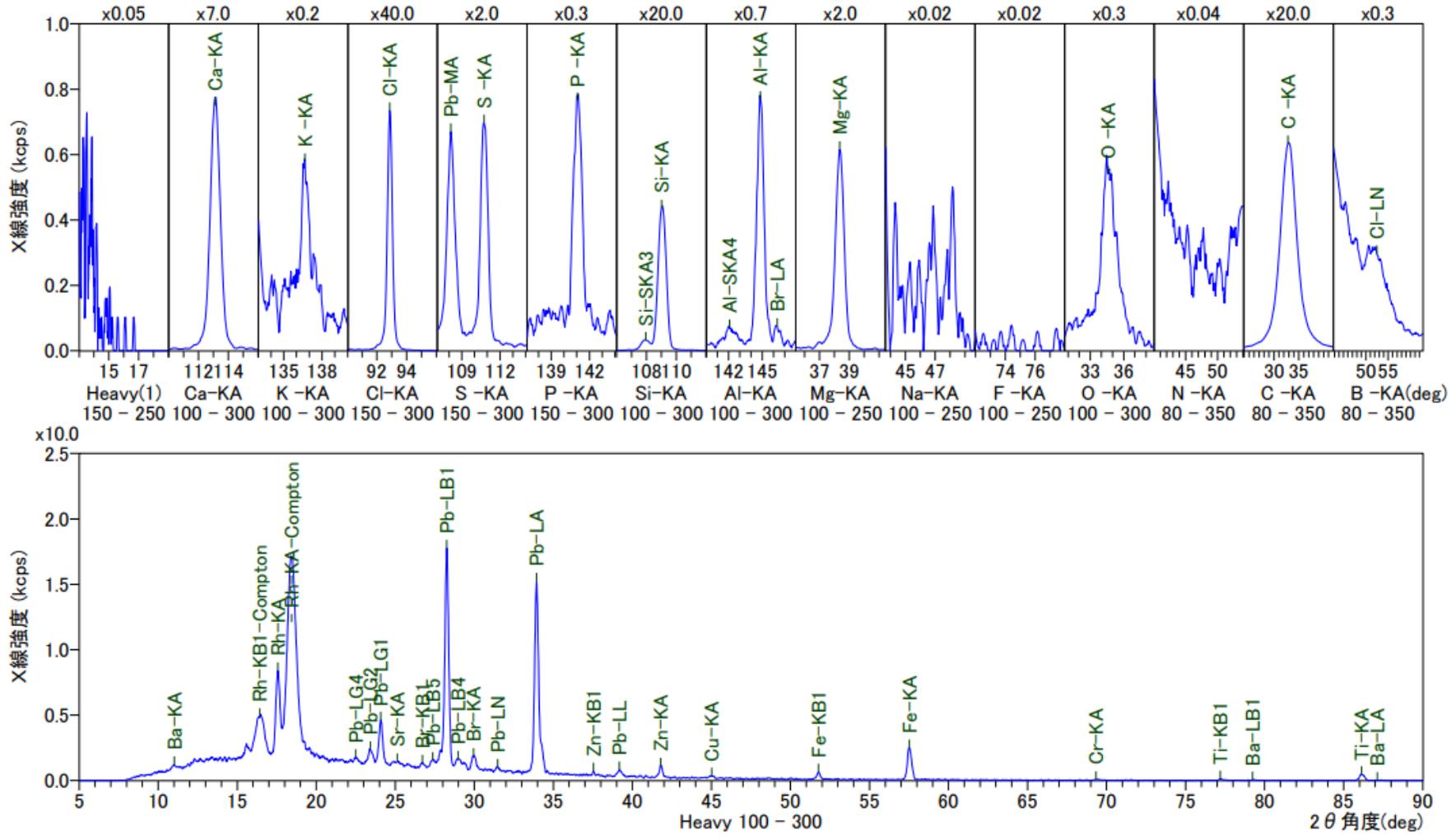


図 IV-19 ②産廃由来重ダスト浮遊物の XRF 測定結果

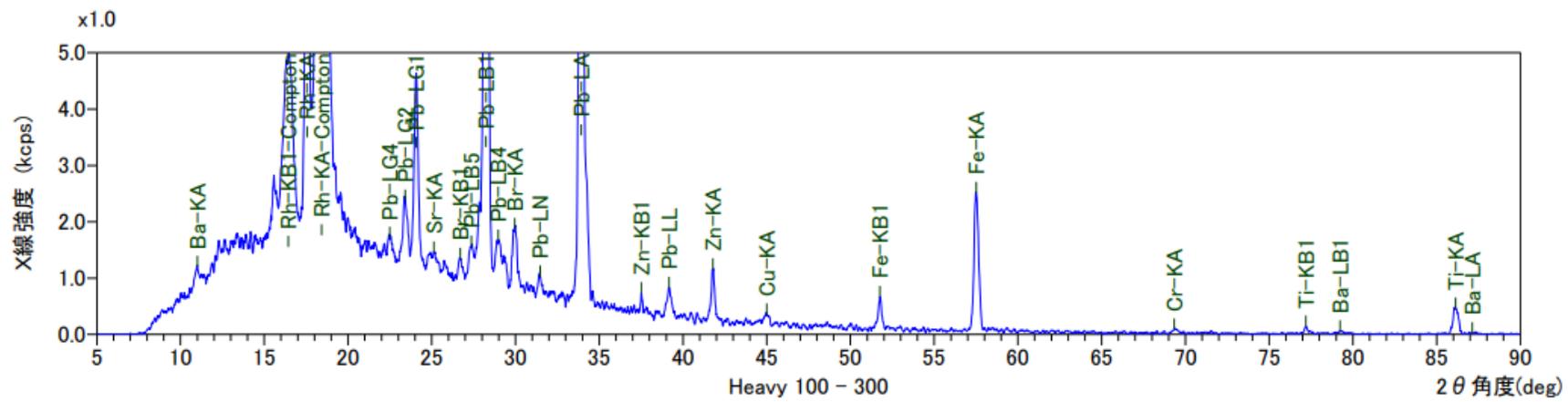


図 IV-20 ②産廃由来重ダスト浮遊物の XRF 測定結果 (Heavy 拡大)

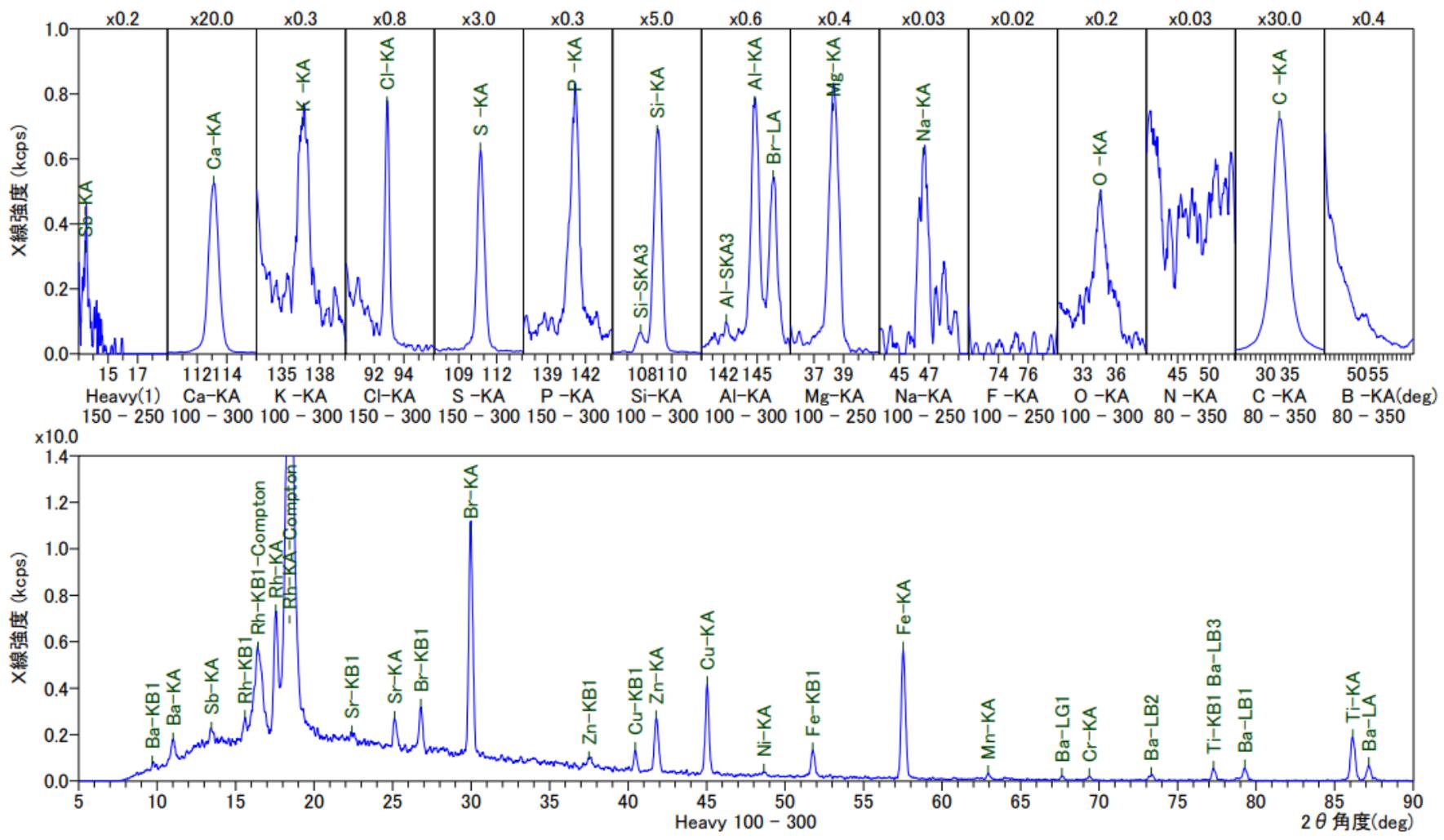


図 IV-21 ③小電由来軽ダスト浮遊物の XRF 測定結果

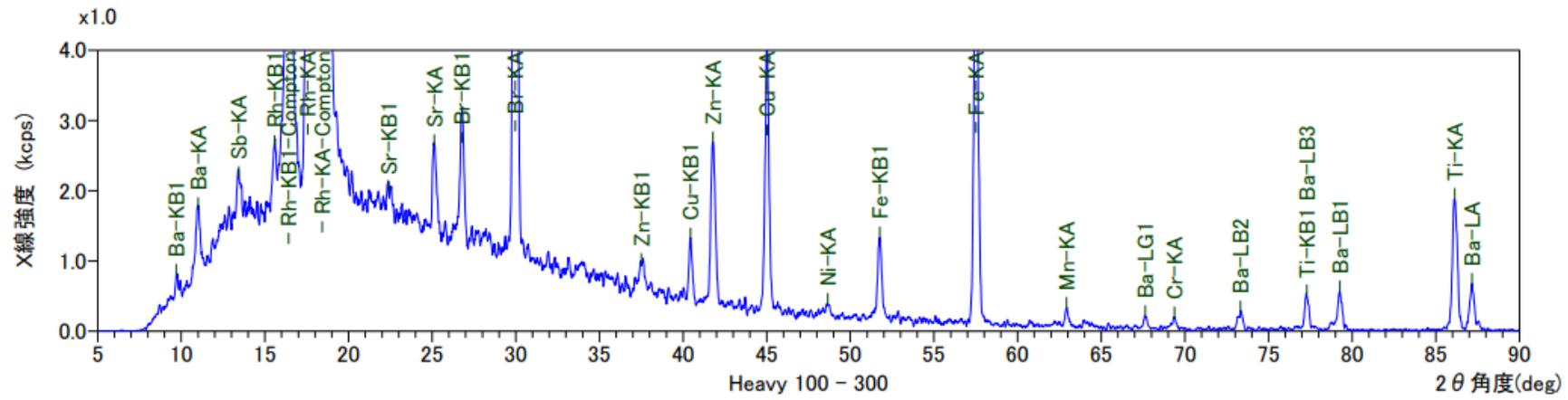


図 IV-22 ③小電由来軽ダスト浮遊物の XRF 測定結果 (Heavy 拡大)

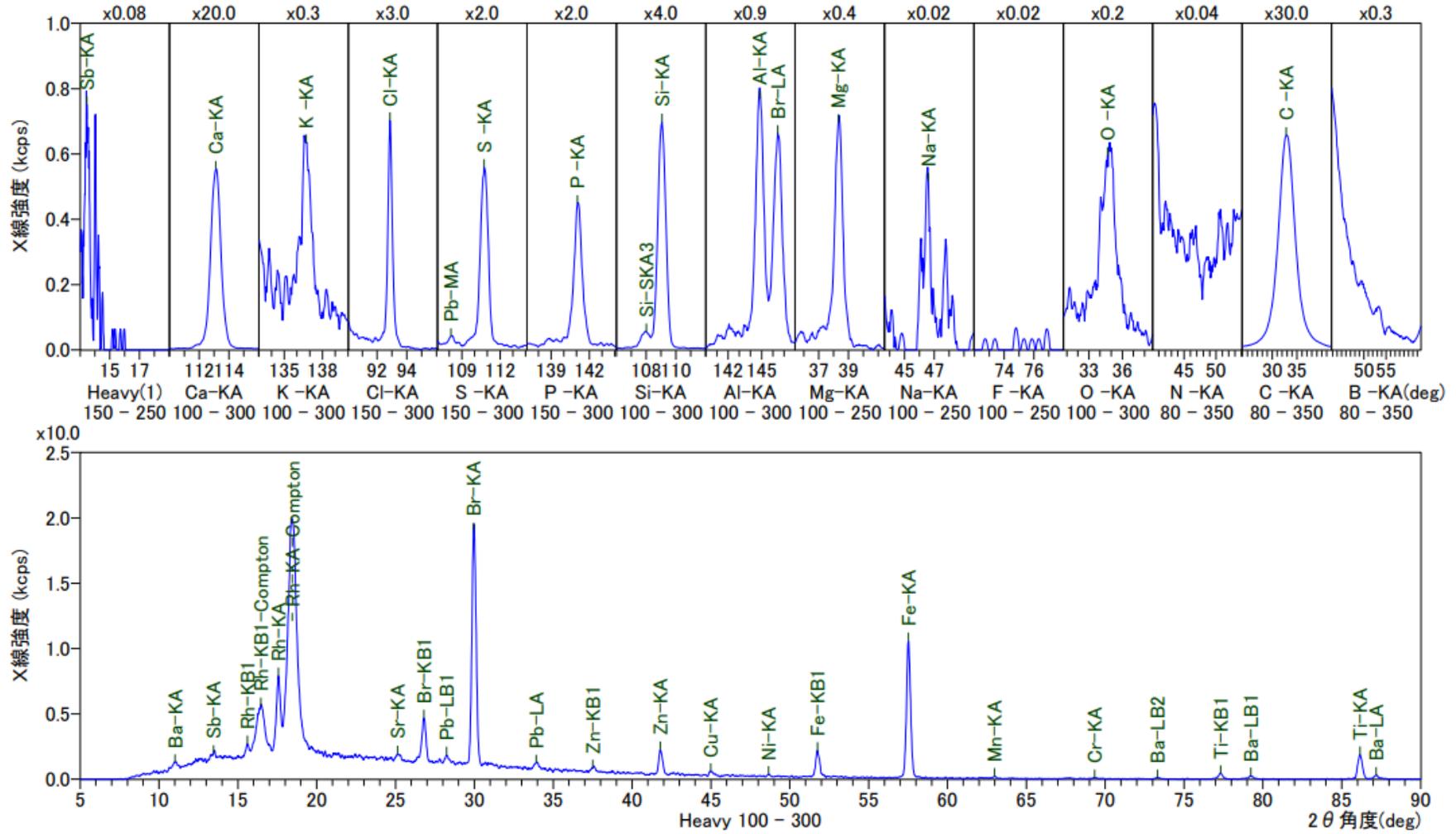


図 IV-23 ④小電由来重ダスト浮遊物の XRF 測定結果

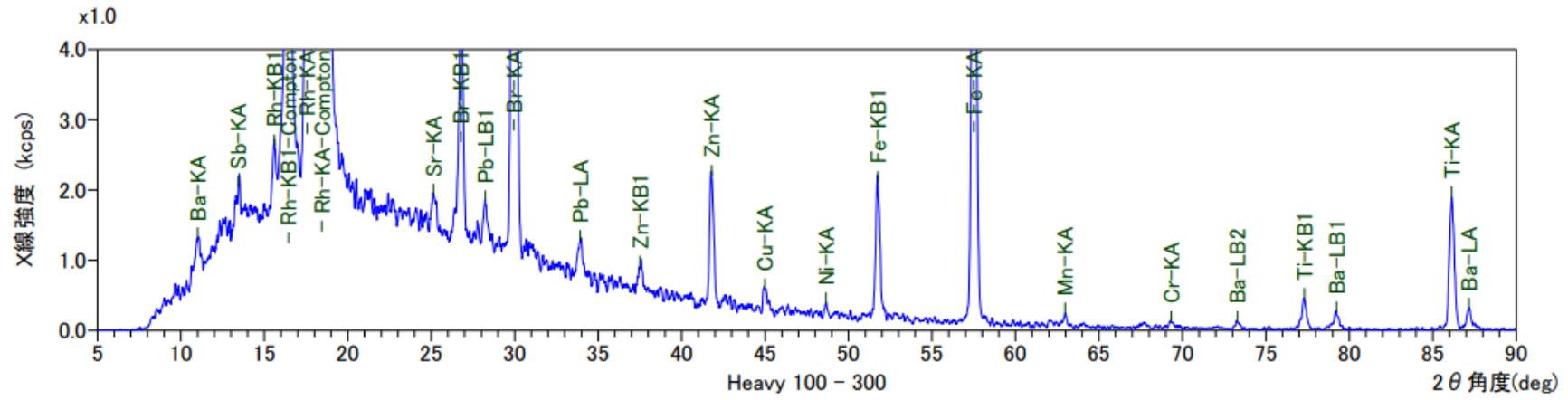


図 IV-24 ④小電由来重ダスト浮遊物の XRF 測定結果 (Heavy 拡大)

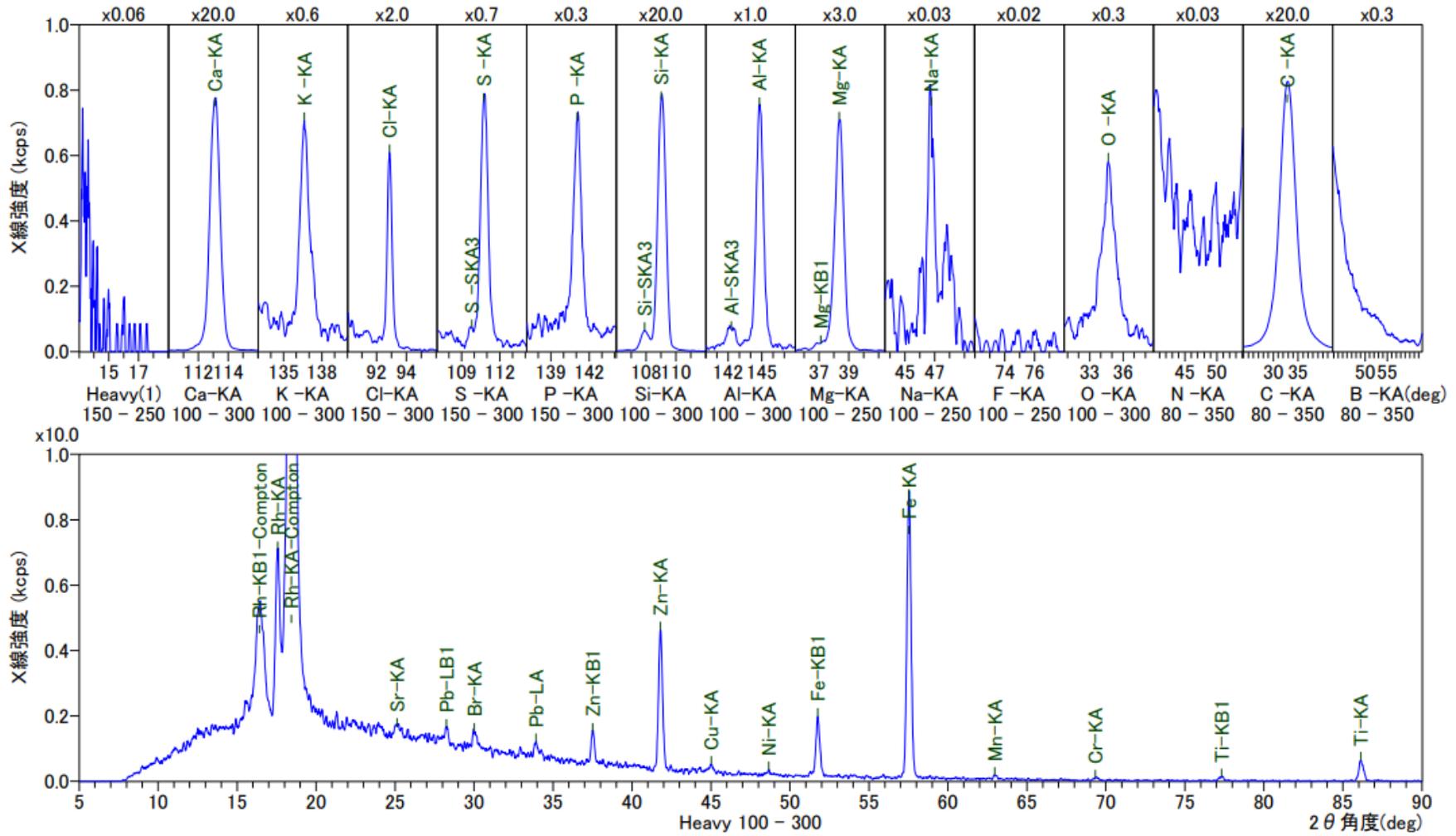


図 IV-25 ⑤ASR 軽ダスト浮遊物の XRF 測定結果

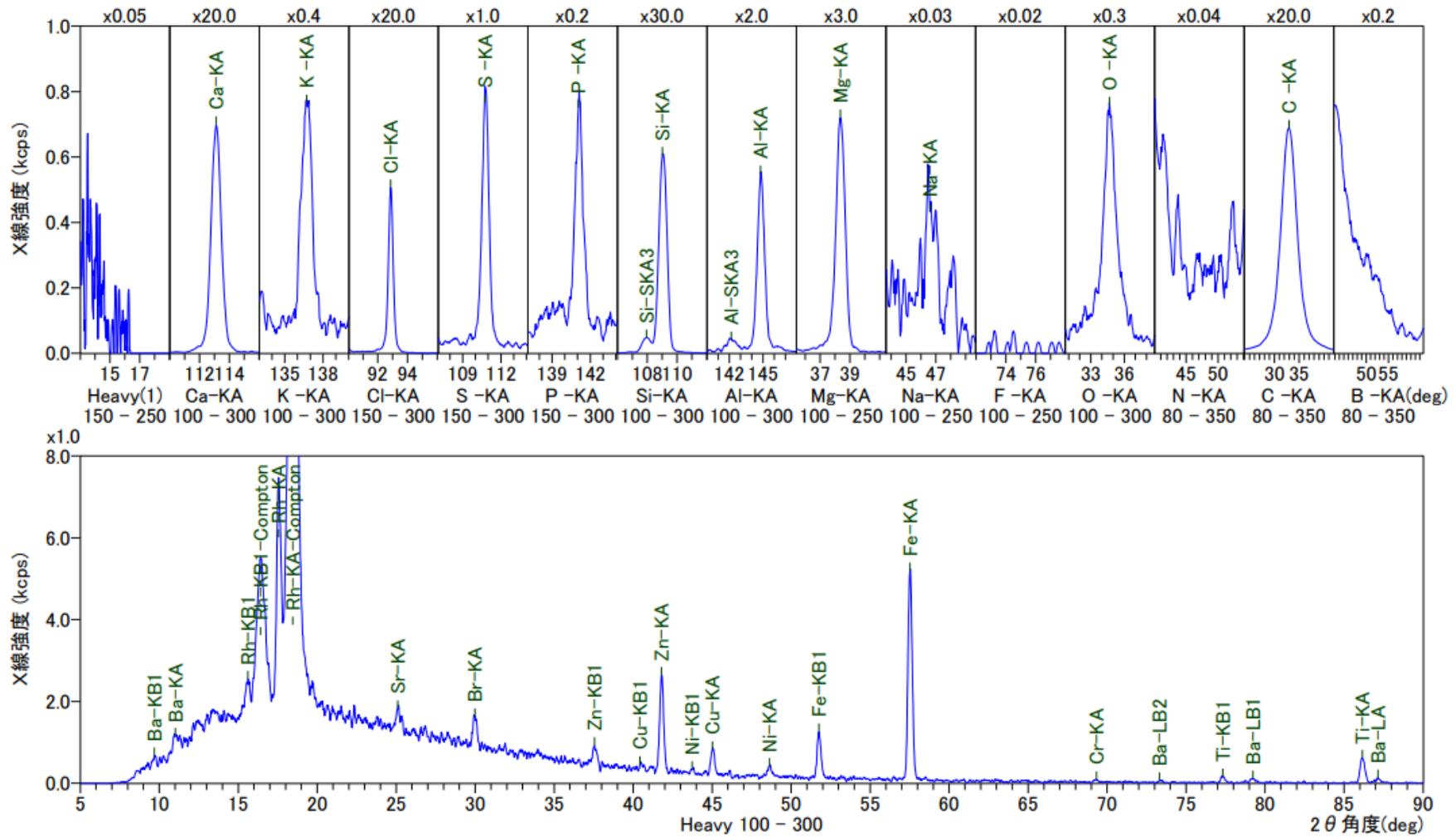


図 IV-26 ©ASR 重ダスト浮遊物の XRF 測定結果

3. 回収 MIX プラ分析 (¹H-NMR 分析)

3.1 分析試験の目的・内容

各種シュレッダーダストを対象にこの度の実証施設である「複合材分離装置」を使って、分離回収したプラスチック類の特性を把握することを目的とする。対象とするシュレッダーダストは ASR、産業廃棄物由来、小型家電由来とし、それぞれ「軽ダスト」と「重ダスト」、合わせて 6 検体とする。

本報告書では、¹H-NMR による組成分析について報告する。

3.2 試料

以下の計 6 検体を用いる。

- ① 産廃由来軽ダスト浮遊物
- ② 産廃由来重ダスト浮遊物
- ③ 小電由来軽ダスト浮遊物
- ④ 小電由来重ダスト浮遊物
- ⑤ ASR 軽ダスト浮遊物
- ⑥ ASR 重ダスト浮遊物

3.3 方法

¹H-NMR 測定の内部標準法により、可溶分の成分組成を算出した。

<有姿測定>

冷凍粉碎した試料約 20mg をテトラクロロエタンに加熱溶解し、NMR 測定を実施した。
不溶解分が溶液内で浮遊しており、分解能が悪く測定や解析が出来なかった。

<熱ろ過後測定>

試料約 150mg を通常濃度と同じ濃度になるように、内部標準物質を加え、テトラクロロエタンに加熱溶解した。

その後、熱ろ過を行い、可溶分のみの NMR 測定を実施した。

装 置：日本電子製 ECZ-400S 型核磁気共鳴装置

測 定 核：¹H

設 定 温 度：120°C

測 定 溶 媒：重水素化テトラクロロエタン（化学シフト値：5.91ppm）

内部標準物質：ポリジメチルシロキサン

3.4 結果

各試料の熱ろ過後の $^1\text{H-NMR}$ スペクトルを図 IV-27～図 IV-32 に示す。

主成分はポリオレフィン(P0)で、ポリプロピレン(PP)、ポリエチレン(PE)が観測された。その他、ポリスチレン(PS)等が観測された。また、すべての試料より、3.6ppm 付近にトリエチレングリコール(TEG)と思われるシグナルが観測された。顧客実証試験で用いた残存溶媒と推定した。

6.5～7.2ppm 付近はポリスチレン(PS)のシグナルであるが、①、⑤と比較して、②、③、④はもう一成分重複して観測された。おそらく、ABSなどの共重合のポリスチレンと推定した。

⑥はシャープなシグナルも重複しており、詳細は不明である。

ブタジエン(8D)は、5～5.5ppm 付近に観測されるが、①、⑤、⑥は小さく、②～④は大きく PS と相関があった。

PS、8D 等架橋ゴム等が存在し、一部のみが溶解している可能性もある。

ポリエチレンテレフタレート(PET)は、8.1ppm 付近のテレフタル酸 (TA)が観測される領域に数本観測され、また 4.6ppm 付近のエチレングリコール(EG)が明確ではないため、PET の存在有無は不明であり、1 以下とした。

塩化ビニル、塩化ビニリデンは、3～4.5ppm 付近に観測されるが、TEG や他のシグナルが重複している領域であり、これらを区別して積分できないことから、この領域に検出されているシグナルから TEG を除いて PVC 由来として算出した。

②、⑤、⑥で観測された 7.4～7.7ppm は、フタル酸エステル類と推定した。

表 IV-9 に $^1\text{H-NMR}$ (内部標準法) より算出した成分組成を示す。

熱ろ過しているため、ろ過時に誤差が生じている可能性もある。また、TEG や不明構造等の算出していないもの、架橋ゴム、ポリアミド、セルロース、無機物など溶媒に溶解しないものはすべて不溶解成分に含まれる。

なお、不溶解分量は次式にて算出した。

不溶解分量(wt%) = $100 - (^1\text{H-NMR}$ で算出されたプラスチック総量)

表 IV-9 $^1\text{H-NMR}$ (内部標準法) により算出した試料の成分組成

試料	成分組成 (wt%) (注1)						
	PE	PP	St ユニット	BD ユニット	PET	PVC (注2)	不溶解 成分
①産廃由来 軽ダスト浮遊物	20	39	10	<1	<1	2	27
②産廃由来 重ダスト浮遊物	10	31	8	<1	<1	3	48
③小型家電由来 軽ダスト浮遊物	13	50	11	<1	<1	3	22
④小型家電由来 重ダスト浮遊物	20	26	22	1	<1	1	29
⑤ASR 軽ダスト浮遊物	19	47	1	<1	<1	4	29
⑥ASR 重ダスト浮遊物	16	48	1	<1	<1	2	33

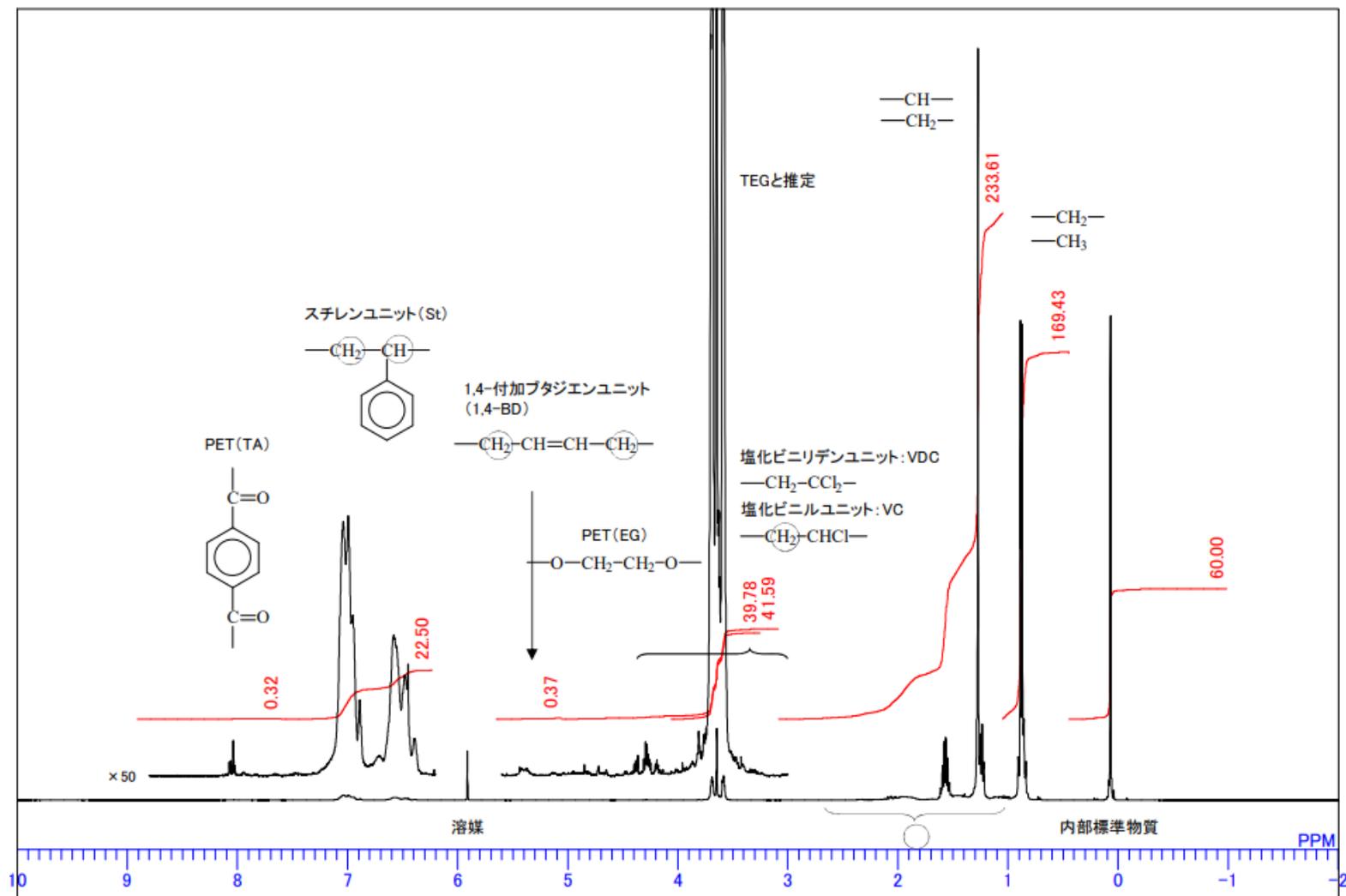


図 IV-27 ①産廃由来軽ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル

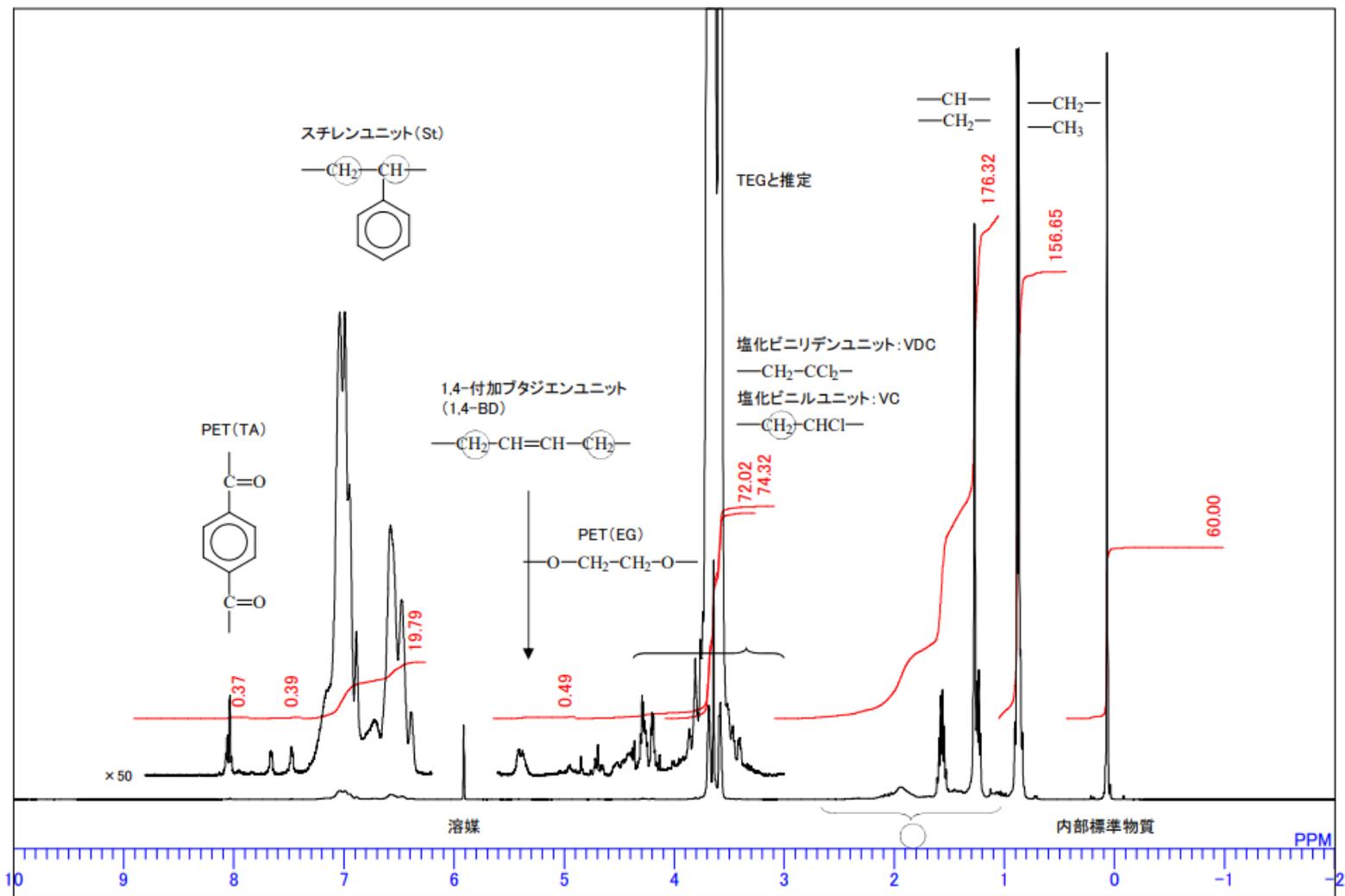


図 IV-28 ②産廃由来重ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル

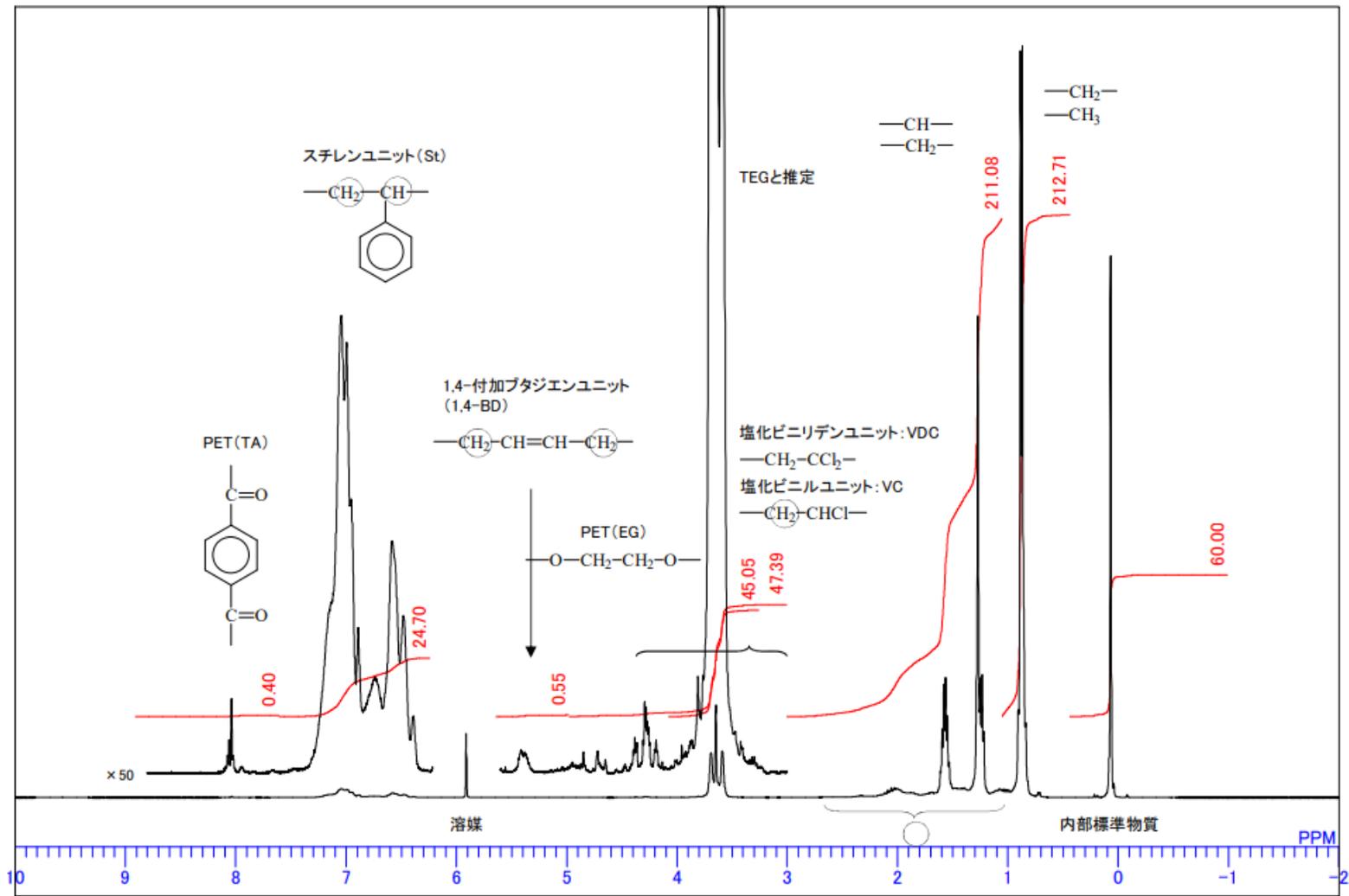
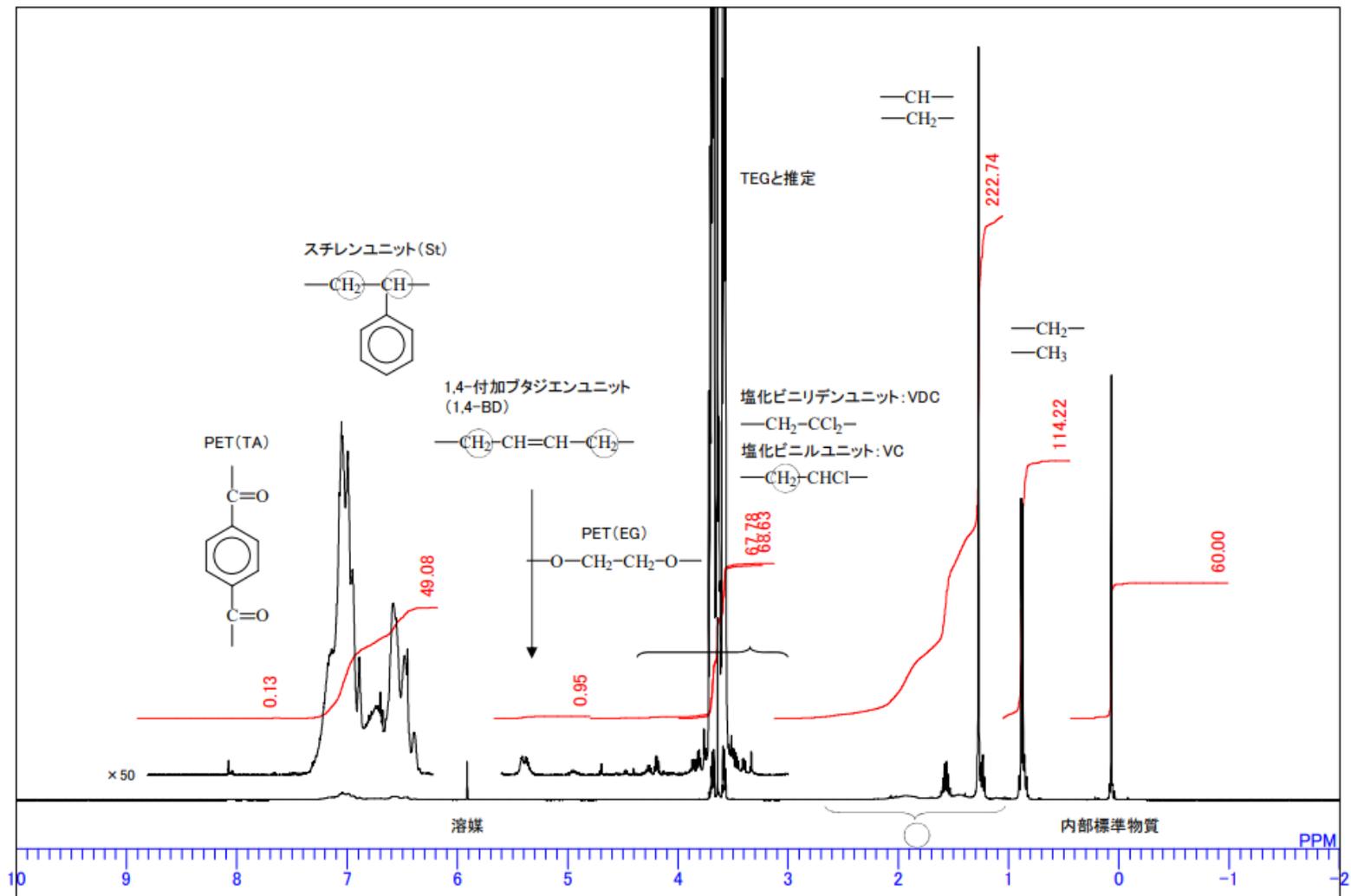
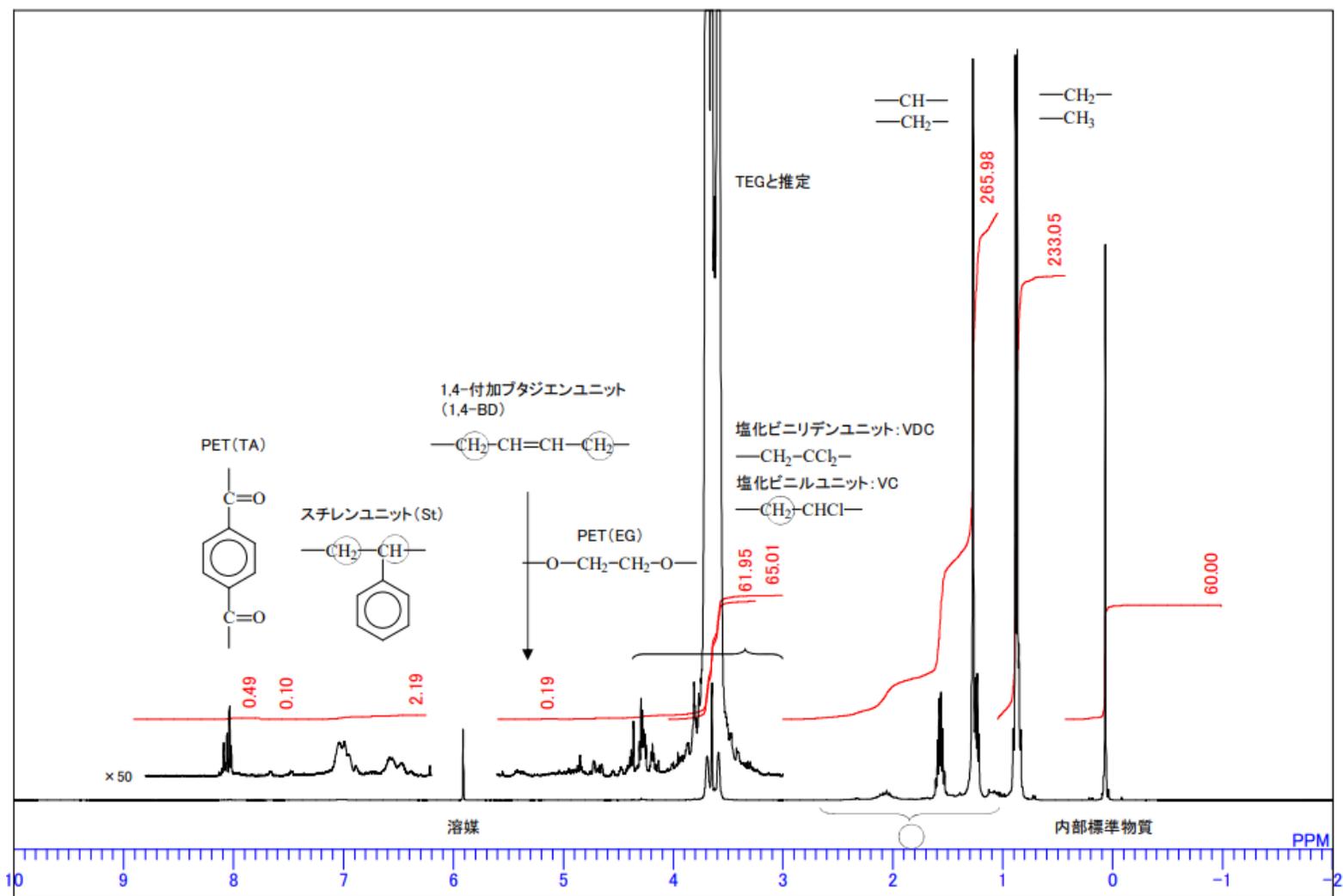


図 IV-29 ③小型家電由来軽ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル


 図 IV-30 ④小型家電由来重ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル


 図 IV-31 ⑤ASR 軽ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル

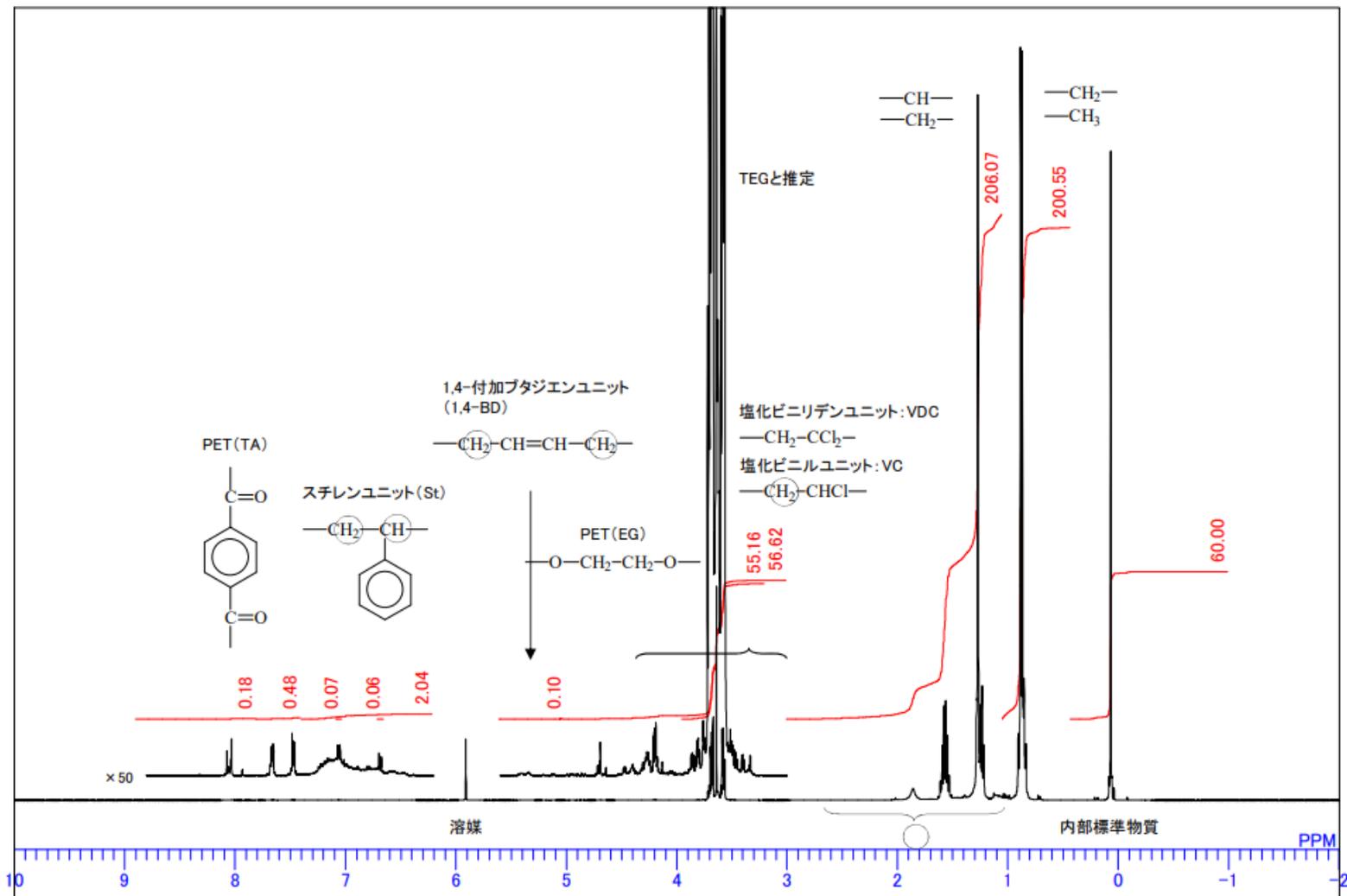


図 IV-32 ㊸ASR 重ダスト浮遊物の $^1\text{H-NMR}$ スペクトル