

2020年3月31日

## 報告書

実施期間 2019年7月1日～2020年3月31日

### 自動車廃プラスチック油化技術の開発

三井化学株式会社 研究開発本部  
伊藤潔、小島甲也

日産自動車株式会社 材料技術部  
服部 直樹、端野 直輝

# 概要

## 名称

自動車廃プラスチック油化技術の開発

## 実施期間

2019年7月1日～2020年2月29日

## 開発/調査 代表者

三井化学株式会社 小島甲也

## 実施者

三井化学株式会社 伊藤潔、小島甲也  
日産自動車株式会社 材料技術部 服部 直樹、端野 直輝

## 協力会社

協力会社 エムエム建材株式会社 第四営業本部 牧野健一郎、高山裕次、濱田真弥

## 目的

ASR(Automobile Shredder Residue)より回収された廃プラスチックを油化し、自動車用プラスチック等の石油化学製品原料となるナフサ代替としてケミカルリサイクルする為の技術検証を行う

## 実施内容

2017～2018年度の研究成果をもとに2019年度は以下の検証を実施

課題①: 調達ネットワークからのオレフィン系樹脂の回収量推計、要求品質基準に見合うASR選別処理プロセスの検討

課題②: 選定した油化プロセスに関わるベンチ試験・精製・クラッキング等の検証、オレフィン樹脂の回収量に基づく事業性評価

## 成果

### 課題①

大手2社および中小のリサイクル事業者からの原料調達ネットワークを想定し、ASR中のオレフィン樹脂の回収量を推計したところ、油化原料を5万トン確保することは困難であり、ASR以外からの原料調達可能性を検討する必要性を確認した。また、ASRの選別プロセスに関する追加的な検証を行い、油化原料としての要求品質基準にあわせるための選別プロセスの課題を抽出した。

### 課題②

油化技術として選定した、触媒による接触分解方式(HiCOP方式)について、ベンチ試験による油化、不純物除去および蒸留精製、クラッキングまでの一連の油化テストを実施した結果、ナフサをクラッキングしたのと同様の組成が得られることを確認できた。また、ASR選別プロセスにおける窒素除去、油化プロセスにおける不純物除去など、追加検証すべき課題を明確化

した。また、事業性評価を行った結果、ナフサ価格に見合う事業コストにするためには、さらにコストダウンのための条件最適化やプロセス見直しが必要であることがわかった。

今後、要求品質基準に見合う ASR 選別プロセスの検証と、調達量の確保と調達コストの低減を実現するための原料ネットワークの検討を行うとともに、油化プロセスのコストダウンと条件最適化、事業性評価、それらを踏まえた事業計画の検討を実施する。

## 自動車廃プラスチックリサイクル技術の開発

(検討期間：2019年7月～2020年2月)

目次	ページ
1. 背景と目的	4
2. 研究開発の全体計画	6
2.1 研究開発の対象技術・システム	6
2.2 研究計画ロードマップ	9
2.3 研究開発の実施体制	12
3. 2019年度の研究計画概要	13
4. 調達先ネットワーク（2019年度研究結果）	14
4.1 要求品質を確保するための前処理プロセスの追加検討	14
4.2 調達先ネットワークの検討	19
4.3 原料調達量のシミュレーション（事業規模の想定）	25
4.4 ASR以外の原料調達に関わる検討	27
4.5 事業化に向けた原料調達の検討課題	30
5. 原料油化プロセス（2019年度研究結果）	31
5.1 原料サンプルの要求品質基準の設定	31
5.2 油化試験（小試験・ベンチ試験）	33
5.3 精製試験（不純物除去、蒸留分離）	36
5.4 水添・クラッキング試験	38
5.5 原料油化プロセスの見直し	39
5.6 事業性評価	40
6. 本研究3年間の成果まとめ	41
7. 事業化に向けた課題（次年度以降の取組課題）	45

## 1. 背景と目的

新興国等の経済発展に伴って鉱物資源・化石資源の需要が急速に拡大するなか、将来には資源の需給逼迫や採掘現場の環境汚染などが懸念されており、資源の効率的な利用とともに再生可能資源や再生材の利用が社会的な課題となっている。

国内では、自動車リサイクル法に基づき、使用済み自動車のリサイクルが安定的に行われており、シュレッダーダスト（Automobile Shredder Residue、以下「ASR」と記載）およびエアバッグ類のリサイクル率は再資源化の基準を超えて9割以上を達成・維持している。今後は、さらに自動車全体での3Rを推進し、より多くの部品や素材をリユース・リサイクルすることによって、結果として社会コストの低減を図ることが求められている。

しかしながら、年間約60万トン発生するASRについては、ASR中に約30%含まれるプラスチックのほとんどが、現状、燃料代替として熱回収（サーマルリサイクル）され、その利用形態はセメント製造業などの特定の燃料用途に限られている。燃料用途では、塩化水素、ダイオキシンなどの有害物質が発生するなどの問題が懸念されるとともに、サーマルリサイクルによるエネルギー回収率は3割程度であり、クローズド・ループリサイクル（Car to Car リサイクル）につながらない。

一方、ASRに含まれるプラスチックの主成分である汎用樹脂PP(ポリプロピレン)に関して一部マテリアルリサイクルが行われているものの、多様な樹脂組成が含まれるために再生材は高品質ではなく、そのリサイクル用途は限定的である。

このため、クローズド・ループリサイクルの実現に向けては、ASR中のプラスチックから高品質な再生材を生み出すことが必要不可欠であり、廃プラスチックを分解して化学原料に変換（原料油化）できるケミカルリサイクルが望ましい。ASRから廃プラスチックを選別分離し、ケミカルリサイクルにより元の樹脂原料へ還元することができれば、再びPP等の自動車用汎用プラスチックとして再利用することができる（図1）。

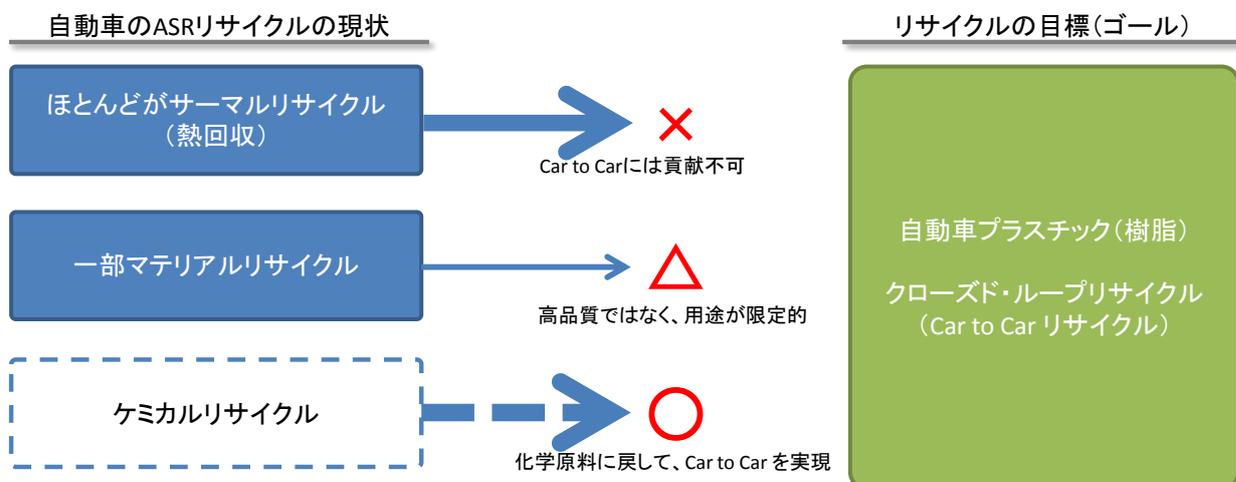


図1-1. クローズド・ループリサイクル（Car to Car リサイクル）に向けた現状と課題

そこで、本研究開発では、クローズド・ループリサイクル（Car to Car リサイクル）の実現に資するため、ASR 中の廃プラスチックからオレフィン系樹脂を選別分離し、ケミカルリサイクルにより元の樹脂原料へ還元する「原料油化システム」を開発することを目的とする。

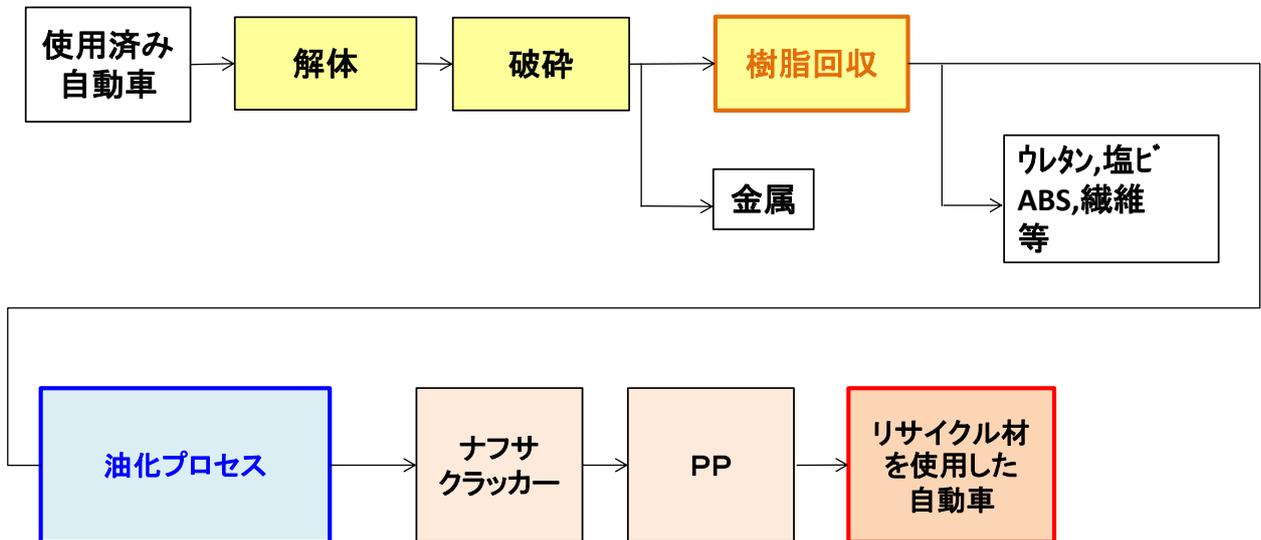


図1-2. 自動車廃プラスチックのクローズド・ループリサイクル

## 2. 研究開発の全体計画

### 2.1 研究開発の対象技術・システム

#### (1) 対象技術・システムの概要

本対象技術・システムは、ASR 中からオレフィン系樹脂を選別・回収するプロセスと、油化処理によって化学原料に戻すプロセスの2つから構成される。

①ASR 中からオレフィン系樹脂を選別・回収するプロセスは、既存の自動車解体事業者や選別・破碎事業者等を前提としたものであるが、原料油化に求められる品質条件をクリアできるレベルに上げる必要がある。

②油化処理によって化学原料に戻すプロセスは、ASR から選別・回収したオレフィン系樹脂であり、様々な組成・品種のものが含まれることを前提に、元の化学原料（C10 以下のナフサ相当化合物）にまでに分解できるようにプロセスを構築する必要がある。原料油化プロセスは、主に油化反応、不純物の除去、生成物の精製から構成され、既存技術を活用する。

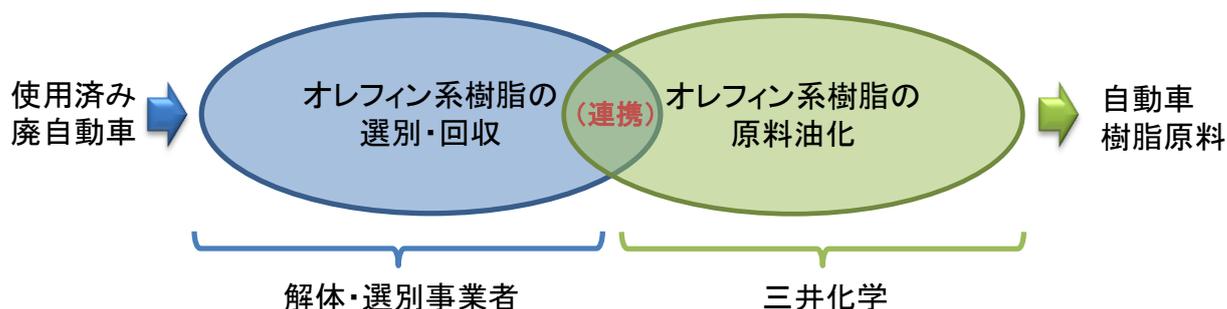


図2-1. 対象技術・システムの構成

#### (2) 開発課題と解決策（アプローチ）

本対象技術・システムの開発は、①オレフィン系樹脂の調達・品質確保、②原料油化プロセスの構築、③経済性の確保の3つを課題としており、それぞれ以下のアプローチで検討する。

##### ①オレフィン系樹脂の調達・品質確保

ASR には、樹脂だけでなく、金属や木くず、ゴムなども含まれており、油化処理するためには、異物や忌避物質が混入しないように前処理して、一定以上の品質を確保することが重要である。一方、オレフィン樹脂の原料調達先となる解体事業者や破碎・選別事業者では、それぞれ自動車の解体・処理方法が異なるため、選別・回収されるオレフィン樹脂の品質も様々である。

このため、本研究開発では、オレフィン系樹脂の品質および回収量を確保できるように、油化原料とする樹脂のサンプルおよび調達先を選定し、要求品質および前処理方法を検討するとともに、原料を安定的に確保するための調達先ネットワークの構築を検討する。

#### 【オレフィン系樹脂の調達・品質確保のためのアプローチ】

- ・樹脂サンプルの調達先の選定
- ・油化原料とするための要求品質および前処理方法の検討
- ・原料を安定的に確保するための調達先ネットワークの検討

#### ②原料油化プロセスの構築

廃プラスチックのケミカル・リサイクル（油化）に関しては、1970年代のオイルショックの頃から省資源の観点により数々の基礎研究、プロセス開発が行われてきたが、これまでの油化技術は、燃料用途をねらった『燃料油化』であり、元の化学原料（C10以下のナフサ相当化合物）にまでに分解する『原料油化』技術はまだ確立されていない。加えて、ASRから選別・回収された多品種のオレフィン系樹脂を前提としたプロセスを構築する必要がある。

このため、本研究開発では、既存技術や先行研究等を踏まえて製品スペックの検討およびプロセスフローの設計を行った上で、原料油化技術の検証を委託する技術保有企業を選定し、小試験およびベンチ設備（スケールアップ）によるプロセス検証を実施する。

#### 【原料油化プロセスの構築のためのアプローチ】

- ・既存技術や先行研究等を踏まえた製品スペックの検討、プロセスフローの設計
- ・原料油化技術の検証に向けた保有企業（委託先）の選定
- ・小試験およびベンチ設備（スケールアップ）によるプロセス検証

#### ③経済性評価

廃プラスチックのケミカル・リサイクル（油化）は、容器包装リサイクル法の施行に伴って複数の油化事業が開始されたが、廃プラスチック原料の安定的な確保が困難となったり、得られる製品の品質が必ずしも高くなく、またコスト的に採算が合わないために、現在ではほとんどの油化設備が廃止されている。本開発技術・システムにおいても、経済性の確保が重要課題である。

そこで、本研究開発では、できるだけ低コストの油化プロセスの構築を目指すだけでなく、①で検討を行う、処理コストの軽減のためのオレフィン系樹脂の品質基準と油化条件の最適化や、物流コストの低減のための効率的な調達先ネットワークの構築と連携させた評価を行う。

【経済性評価のためのアプローチ】

- ・ 低コストの油化プロセスの構築
- ・ オレフィン系樹脂の品質基準と油化条件の最適化（①と連携）
- ・ 効率的な調達先ネットワークの構築（①と連携）

## 2.2 研究計画ロードマップ

表1に研究計画のロードマップを示す。2017年度には、主にオレフィン系樹脂サンプルの調達先の選定および分析と、先行技術調査に基づく原料油化における課題の抽出、原料油化プロセスフロー案の構築および概算見積を実施した。2018年度には、小試験によるプロセス検証を行って原料油化技術を絞り込むとともに、オレフィン系樹脂サンプルの調達可能性について検証を行った。

2019年度には、小試験およびベンチ設備でのプロセス検証を通じて、原料油化のための要求品質を見定め、要求品質を満たす樹脂原料を調達するための前処理方法および調達ネットワークを検討するとともに、商用規模の詳細プロセスを構築する。これらを基に商用設備の建設費、ランニングコスト等を算出して、原料油化プロセスの経済性評価を実施する。

将来的には、商用プラントの継続的運営を通し、油化事業を「資源リサイクルの事業モデル」として広く国内外へ浸透・普及させ、ASRの削減を通じて環境負荷の低減に貢献することが目指すべき姿である。

次ページ以降に各研究項目に関する概要を示す。

表2-1. 研究計画ロードマップ

内容	2017年度		2018年度		2019年度		2020年度以降
	上期	下期	上期	下期	上期	下期	
①オレフィン系樹脂の調達・品質確保	調達先検討	サンプル分析 候補原料選定					
				前処理方法の検討 調達先ネットワークの検討			
②原料油化プロセスの構築	技術調査	技術保有先の選定					
		プロセスフロー(案)構築	小試験での油化検証 ベンチ設備仕様の確定		ベンチ設備での油化検証 精製工程の検討 プロセス概念設計		
③経済性評価					概算見積り 経済性概算評価		実証評価 実機基本設計 経済性評価

### 2.2.1 オレフィン系樹脂の調達・品質確保

#### (1) 樹脂サンプル・調達先の選定

原料油化においては、ASRから得られるオレフィン系樹脂の品質を一定以上確保することが必要不可欠であり、原料油化に求められる要求品質を検討するにあたって、ASRから選別・回

収する樹脂サンプルの調達先を調査・選定する。調達先としては、ASR からの樹脂サンプルの選別・提供に協力可能な破碎処理事業者の数社とともに、品質の基準サンプルになると考えられる手解体を行う解体事業者 1 社を選定する。

## (2) 原料油化のための要求品質および前処理方法の検討

### 原料油化のための樹脂の要求品質の検討

選定した調達先から樹脂サンプルを入手して、各サンプルの成分分析を行い、オレフィン系樹脂の割合や懸念物質の含有状況などを把握する。基準サンプルとした手解体の樹脂サンプルに比べて、ASR から選別した樹脂サンプルの品質レベルを確認する。さらに小試験およびベンチ設備による樹脂サンプルの油化処理を行い、原料油化のための要求品質を見定める。

### 要求品質を確保するための前処理方法の検討

原料油化のための要求品質を踏まえ、その要求品質を満たすために必要となる前処理方法（樹脂選別プロセス）を検討する。事業性を確保するためには、要求品質を満たすオレフィン系樹脂原料を大量に効率的に集約することが重要なポイントとなる。原料油化プラントに供給可能なオレフィン系樹脂を既存の破碎処理事業者・再資源化施設からどれくらい集約できるのか、品質・経済性の観点から検証する。

## (3) 原料を安定的に確保するための調達先ネットワークの検討

原料を安定的に確保するため、調達先ネットワークをより拡大させていくことが重要になる。使用済み自動車の取扱規模や樹脂選別能力及び上記技術的課題への対応の観点からオレフィン系樹脂の集荷拠点の候補となりえる破碎処理事業者・再資源化事業者の抽出・選定を行う。あわせて破碎処理事業者・再資源化事業者から原料油化プラントまでの供給物流の効率化に関する検討も実施する。



図2-2. 調達先ネットワークのイメージ

## 2.2.2 原料油化プロセスの構築

### (1) 既存技術や先行研究等を踏まえた課題の抽出、プロセスフローの設計

燃料油化に関わる商業化事例や先行研究等に関する各種調査を行い、原料油化技術の実用化に向けた課題として、プロセス、安全性、採算性、懸念物質、製品スペック等を明確化する。その上で、課題をクリアできる原料油化プロセスフローを設計し、プロセスの概算コストを算出する。

### (2) 小試験およびベンチ設備（スケールアップ）によるプロセス検証

油化技術・設備を保有するメーカー／大学を調査し、原料油化のための技術をもつ有望企業を選定する。選定企業において、まずは数十 kg スケールの小試験（油化テスト）を実施し、抽出された課題を検証して、ベンチ設備でのスケールアップ条件の決定、および商業生産プロセスの詳細設計へ繋げる。

- ・最適な反応形式、分解／後処理／精製条件の検証、触媒の選定
- ・不純物の除去／無害化設備の選定
- ・分解残・カーボンの除去／処理法の検証
- ・回収物組成、物質収支／熱収支の把握
- ・環境保安上必要な設備、対策の明確化

## 2.2.3 経済性評価（詳細な設備仕様の選定、詳細コストの見積り）

前項に挙げた課題を検証し、その結果を踏まえて設備仕様の詳細を決定するとともに、原料油化プラントの詳細コストの見積もりを行う。また ASR からのオレフィン樹脂の調達コストや原料油化プラントの運転コスト等も含め、原料油化事業としての経済性評価を実施する。

## 2.2.4 中長期的な計画（2020 年度以降）

3 年間にわたる研究の後、商業生産の機器スペックの詳細、運転条件等を決定し、並行して商業機設置サイトの選定、物流の適正化、ナフサ価格動向を考慮した、詳細な経済性評価を実施する計画である。

### 2.3 研究開発の実施体制

本研究は、主に原料油化プロセスを検討する三井化学と、主にオレフィン系樹脂の調達・品質確保を検討するエムエム建材が連携し、ASR からオレフィン系樹脂をケミカルリサイクルする原料油化事業の検討に取り組む。また、オレフィン系樹脂の調達・品質確保に関わる検討を中心に、自動車および ASR のリサイクルに豊富な知見を有するエコメビウスが技術アドバイザーとして参画する。

表2-2. 研究開発における主な役割分担

課題	アプローチ	三井化学	エムエム建材
①オレフィン系樹脂の調達・品質確保	樹脂サンプル・調達先の選定	△	○
	油化原料とする要求品質の検討	○	－
	要求品質のための前処理方法の検討	－	○
	調達先ネットワークの検討	－	○
②原料油化プロセスの構築	既存技術や先行研究等の調査	○	－
	製品スペックの検討	○	－
	プロセスフローの設計	○	－
	技術保有企業（委託先）の選定	○	－
	小試験およびベンチ設備によるプロセス検証	○	－
③経済性評価	低コストの油化プロセスの構築	○	－
	オレフィン系樹脂の品質基準と油化条件の最適化	○	○
	効率的な調達先ネットワークの構築	－	○

### 3. 2019年度の研究計画概要

#### (1) 調達先ネットワークに関する検討

昨年度では、油化原料としての品質については、窒素分および塩素分の混入を許容量に抑えるための原料の前処理方法が残課題となった。

油化プロセスにおける異物除去はコスト面や品質面で大きな障害となっており、異物除去に関わる問題をブレイクスルーするため、今年度では、異物の許容範囲を目標とした原料の調達及び前処理工程（破碎・選別等）を確定し（油化原料としての仕上げ）、集荷および設備投資を含めたコスト試算を行った。具体的な実施内容は以下のとおり。

- ・ 要求品質を確保するための前処理プロセスの追加検討
- ・ 調達先ネットワークの検討（事業スキーム）
- ・ 原料調達量のシミュレーション（事業規模の想定）
- ・ 事業化に向けた原料調達の検討課題

#### (2) 原料油化プロセスの構築

昨年度は、ASR 中のオレフィン樹脂の原料油化プロセスとしては、HiCOP 方式を選定するとともに、検証結果を踏まえてプロセスの見直しを行った。一方で、オレフィン・芳香族成分の低減や不純物の除去などの追加的な工程に関する検討も必要であることがわかった。

そこで、今年度では、概念設計（反応・精製を含めたプロセス全体のプロセスフロー・機器スペック・物質収支の作成）を目標として、目的成分の決定および収率向上、得られた生成物のナフサクラッカーへの導入における課題検討を踏まえ、事業化に向けたプロセス見直しと事業性の評価を行った。具体的な実施項目は以下のとおり。

- ・ 原料サンプルの要求品質の設定
- ・ 原料油化に関わる各プロセスの検証
  - － 油化試験（小試験・ベンチ試験）
  - － 精製試験（不純物除去、蒸留分離）
  - － 水添・クラッキング試験
- ・ 事業性評価

## 4. 原料調達ネットワーク（2019 年度研究結果）

### 4.1 要求品質を確保するための前処理プロセスの追加検討

#### （1）要求品質に関わる課題（昨年度の実証結果）

昨年度、処理工程の違う 2 社のサンプルにて小試験を実施した。三井化学による小試験サンプルの分析結果によると、いずれのサンプルも原料の要求品質に関わる成分値において窒素分と塩素分が高い結果となった。窒素分に関しては ABS・ウレタン・ナイロン等、塩素分に関してはワイヤーハーネスの被覆線に使用されている PVC（ポリ塩化ビニル）が原因と見られ、原料の前処理プロセスにおいてこれらの物質の除去が望まれる。

昨年度のサンプル調達先である B 社では、比重 1.10 の水流選別を実施したため、比重 1.10 前後の ABS・ウレタン・ナイロン・PVC 等の混入があり、もう 1 つのサンプル調達先である C 社のサンプルに比べて窒素分・塩素分の成分値が高い結果となった。一方で、水槽による比重 1.00 の浮沈選別を実施した C 社では、ABS・ナイロン等の混入が抑えられたものの、比重 1.00 を超えるタルク入り PP が沈むことでオレフィン系樹脂の回収率が減少することが課題となっている。また、スポンジ状のウレタンは水を吸うと比重が変動するため、湿式選別を行う B 社、C 社の両方のサンプルでウレタンの混入が見られた。

以上のことから、今年度はオレフィン系樹脂の回収率を維持しながら ABS・ウレタン・ナイロン等の混入を抑え、原料中の窒素分・塩素分の含有を低減するための選別プロセスの追加検討を行った。

#### （2）追加検討した前処理プロセス

##### ①プロセス候補とその理由

課題である ABS・ウレタン・ナイロン・PVC 等の混入を抑え、オレフィン系樹脂の回収率を向上させるため、次のプロセスを対象に検証を行った。

##### ABS の除去・オレフィン系樹脂の回収率向上（代替装置の検討）

昨年度の研究開発では、B 社のサンプル作成のために比重 1.1 の水流比重選別装置を使用した。この装置メーカーでは、選別精度を更に高めた装置を開発しており、同装置では、安定した上昇流を発生させることで比重 1.05 の分離点で樹脂を選別することが可能である。これにより、従来型的水流比重選別装置に対して ABS の混入を抑えるとともに、水槽による浮沈選別に対してはタルク入り PP（比重 1.05 以下）を浮上させてオレフィン系樹脂の回収率を向上させることができると考えられる。（表 4-1 を参照）

## ウレタン・ナイロン等の除去（追加装置の検討）

ウレタンやナイロン等の繊維くずに関しては、乾式選別プロセスを導入することで除去できると考えられる。

表 4-1. 樹脂の比重と選別設備ごとの分離点

選別設備		種類	比重
従来型 水流比重選別 (1.1)	新型 水流比重選別 (1.05)	水槽での比重選別 (1.0)	PP 0.9~0.91
			PE 0.91~0.965
		タルク入りPP	1.05以下
		ABS	1.01~1.21
水流選別による巻き込みで一部浮上すると考えられる		PVC	1.35~1.45

※繊維状のナイロン、スポンジ状のウレタンは、湿式選別工程では水分や気泡を含み比重が変わるため、湿式工程での除去は難しいと考えられる。

## ②前処理プロセスの検証方法

ABS 除去・PP 回収率向上に関しては、新型の水流比重選別装置の量産ラインを導入予定である E 社のサンプルを調達し、効果の検証を行った。

ウレタン・ナイロン等の除去に関しては、樹脂リサイクル事業者の乾式選別プロセスにて効果を検証した。昨年度調達した C 社のサンプルを静電分離装置、エアテーブルにて処理し、昨年度の分析結果と比較して除去効果の検証を行った。

また、新たなサンプル調達先として、既に従来型的水流比重選別装置の量産ラインを導入している D 社を追加した。同社では、ASR から手選別した樹脂分を粉碎洗浄、従来型的水流比重選別装置での水流比重選別、さらに水槽での比重選別を行っているため、高品質なサンプルが入手できるという点でサンプル調達先に選定した。

表 4-2. 前処理プロセスの検証方法

課題	検証プロセスと特徴
ABS除去・PP回収率向上	・安定した上昇流により比重1.05の分離点で樹脂を選別できる新型の水流比重選別装置でABS、PVCを除去
ウレタン・ナイロン等の除去	・静電分離装置にてオレフィン系樹脂からその他の樹脂や異物を除去 ・エアテーブル装置にてウレタン・ナイロン等の繊維系の不純物を除去

表 4-3. 対象サンプル

サンプル調達先	サンプル量	サンプルの前処理
C社	20kg	ASRより樹脂分を手選別→湿式洗浄粉碎→湿式比重選別(1.0) →脱水→静電分離→エアテーブル
D社	60kg	ASRより樹脂分を手選別→湿式洗浄粉碎→湿式比重選別(1.1) →湿式比重選別(1.0)
E社	10kg	ASRより樹脂分を機械選別→湿式洗浄粉碎→湿式比重選別(1.05)

③追加プロセスの検証結果

追加プロセスを実施した各サンプルの三井化学での分析結果を表 4-4 に示す。

表 4-4. 追加サンプルの成分

	昨年度サンプル		追加サンプル			
	B社	C社	D社	E社	C社	D社※ (ベンチ試験)
樹脂構成						
PP	49~55%	55~57%	56~62%	52~56%	52~61%	63~64%
PE	27~32%	29~33%	26~32%	21~24%	26~31%	25~27%
タルク	10%	5%	9%	7~8%	5%	10%
微量不純物 [ppm]						
S 添加材	292	278	63	567	143	77
N ABS,AS, ウレタン	5178	1400	486	2367	500~ 1200	497
Si タルク	3.4%	1.9%	3.4%	2.1%	0.9%	3.4%
P 難燃剤?	132	97	104	89	266	91
Cl PVC	800~ 1800	600	未検出	760~ 1160	~230	~195
Br 難燃剤	未検出	~4	未検出	~9	~4	未検出

※サンプル分析の結果を踏まえ、不純物が最も少ないD社のサンプルでベンチ試験を実施した。ベンチ試験での分析データを参考として示す。

- ・D社：窒素分・塩素分ともD社のサンプルが最も低い値となった。前述の通り、D社ではASRから手選別で樹脂を回収しているため、スポンジ状のウレタンが付着した樹脂の混入を抑えられること、比重 1.10 の水流比重選別の後に水槽での比重選別を実施していることから、窒素分の原因となるABS・ウレタン・ナイロン、塩素分の原因となるPVCの混入が抑えられたと考えられる。

- ・ E社：E社ではASRからの樹脂分の回収を機械選別で行っていることで、スポンジ状のウレタンや樹脂に絡みついたワイヤーハーネスの混入があり、窒素分・塩素分の値が高くなっていると考えられる。
- ・ C社：乾式選別プロセスを追加したC社では、窒素分を昨年度サンプルの1400ppmから最大で500ppmまで低減できており、ウレタン・ナイロン等の除去効果が見られた。

サンプル分析結果を踏まえ、不純物が最も少ないD社のサンプルでベンチ試験を実施することとした。

### (3) 要求品質を確保するための前処理プロセス

以上のことから、ASRからの樹脂回収を手選別で行い、水流比重選別と水槽での比重選別を行うことで、窒素分・塩素分の値を低減し、最も高品質な原料を得られることが分かった。窒素分に関しては、D社のサンプルでも依然として高い値となっているが、乾式選別プロセスを追加することで更に低減させることができると考えられる。

現時点で考えられる前処理プロセスを図4-1に示す。ただし、窒素分の低減・除去については、前処理プロセスあるいは原料油化プロセスのそれぞれでどの程度対応すべきか、コスト面も含めたバランスを考慮しながら見極めていく必要がある。

- ① 手選別               : 作業員の目視によりASR中から樹脂主体物を選別。
- ② 洗浄粉砕           : 付着した異物や汚れを洗浄し12mmアンダーに粉砕。
- ③ 水流比重選別       : 比重1.1以下のPP・PEを選別。
- ④ 湿式比重選別       : 水を使用し比重1.0での比重選別により水流比重選別で除去しきれないABS・PVC等を除去。
- ⑤ 脱水・乾燥         : 脱水機にて脱水・乾燥。
- ⑥ 乾式選別           : ゴム除去装置、静電分離設備を使用してゴムやその他の樹脂を除去し、エアテーブルによりスポンジ状のウレタン・繊維状のナイロンを除去。

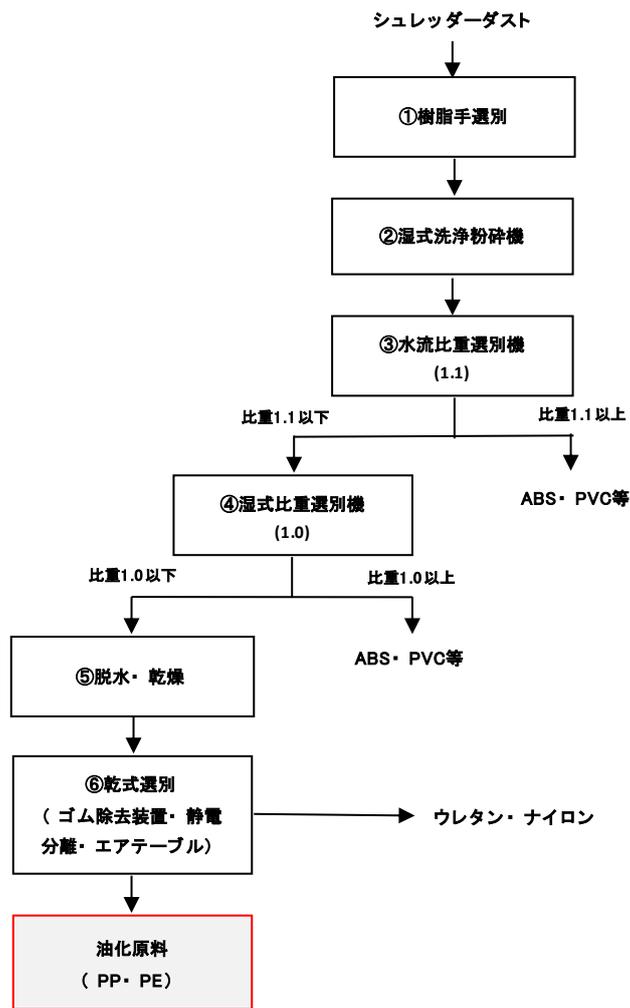


図 4-1. 要求品質を確保するための前処理プロセス

## 4.2 調達先ネットワークの検討

### (1) 調達先ネットワークに関わる課題（昨年度の実証結果）

油化の原料となるのは ASR から回収したオレフィン系樹脂であり、全国の ASR 発生規模や油化関連の事業規模を想定して、事業化を想定した原料の調達目標を 5 万トンとした。5 万トンのオレフィン系樹脂を調達するためには、ASR 中のオレフィン系樹脂を 30%程度、選別による歩留まりを 90%とすると、約 18.6 万トンの ASR の調達が必要となる。

昨年度までは、要求品質を満たすための前処理プロセスの検討や、東北・関東・中部・北陸地区の事業者からの原料調達量の推計、物流コストおよび設備投資コストを含めた採算性の検討などを行い、原料調達量の確保および事業採算性の向上といった観点から継続的な検討課題を以下のようにとりまとめた。

#### 【原料調達システムのビジネスモデル検討】

- ・年間でオレフィン系樹脂 5 万トン进行調達する際のネットワーク具体案
- ・各シュレッダー工場による前処理（前処理工程の費用試算の詳細検討など）
- ・ASR 集約による前処理（集約拠点の設置・追加投資に関する検証など）
- ・事業規模・収支イメージの策定、事業におけるメリット/デメリットの評価など
- ・事業スキーム構築に向けた課題の洗い出し

### (2) 再資源化施設の認定可能性（2つの事業形態の比較）

本事業では、破碎処理事業者が再資源化施設の認定を受けて ASR から樹脂を選別するケースと、再資源化施設認定を受けずに樹脂を選別するケースの2つの事業形態が想定される。破碎処理事業者へのヒアリングにより2つの事業形態を比較し、それぞれのケースにおけるメリットとデメリットを検討した。

#### ① 想定される2つの事業形態

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| A | 破碎処理事業者が ASR 再資源化施設の認定を受けるケース  |
| B | 破碎処理事業者が ASR 再資源化施設の認定を受けないケース |

#### A 破碎処理事業者が ASR 再資源化施設の認定を受けるケース

このケースでは、破碎処理事業者が自動車リサイクル法の再資源化施設認定を受け、再資源化処理料金を受け取って ASR から樹脂の選別を行う。

この場合、破碎処理事業者は処理を行う ASR の量に応じた再資源化処理料金を受け取ることができるが、処理後の残渣は自社の費用負担で処理を行う必要がある。さらに、2018 年からの廃プラスチックの中国向け輸出が停止した影響で日本国内でのシュレッダーダスト（以下、

「SR」と記載)の処理費用が高騰しており、残渣の処理費が再資源化処理料金を上回るケースも出てきている。

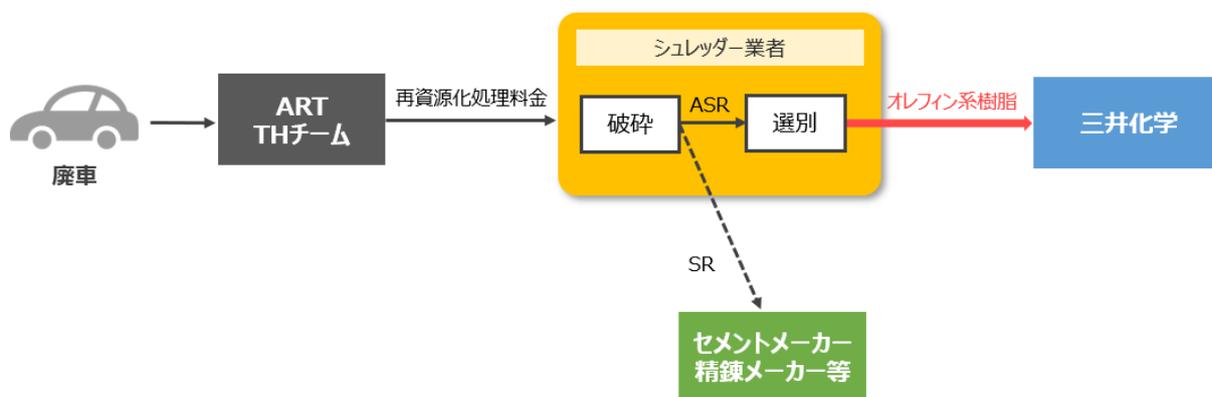


図 4-2. 事業形態 A : ASR 再資源化施設の認定を受けるケース

**B 破碎処理事業者が ASR 再資源化施設の認定を受けないケース**

このケースでは、破碎処理事業者が再資源化施設の認定を受けずに自社で発生する ASR から樹脂の選別を行い、選別したオレフィン系樹脂を油化事業者に有価で販売する。

この場合、選別コストは自社で負担することとなるが、油化事業者への販売収入を得ることができ、さらに選別後の残渣は ASR として再資源化施設への差配を受けることができるため、残渣処理費の負担が無いというメリットがある。

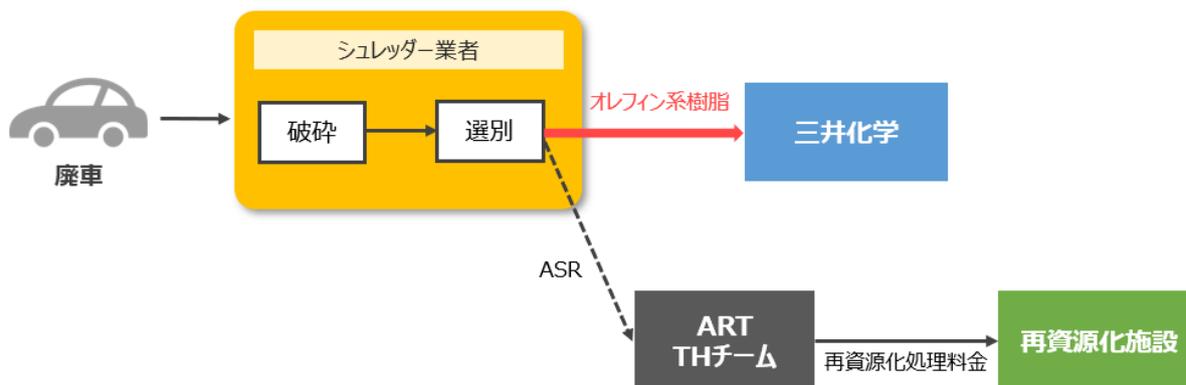


図 4-3. 事業形態 B : ASR 再資源化施設の認定を受けないケース

## ② 事業形態の検討結果

上記の検討の結果、SRの処理費が高騰している現在の環境下では、破碎処理事業者が再資源化施設の認定を受けようとする意欲が低下していることが分かった。

そのため、今年度は「B 破碎処理事業者が再資源化施設の認定を受けないケース」で調達先ネットワークに関する検討を行うこととした。

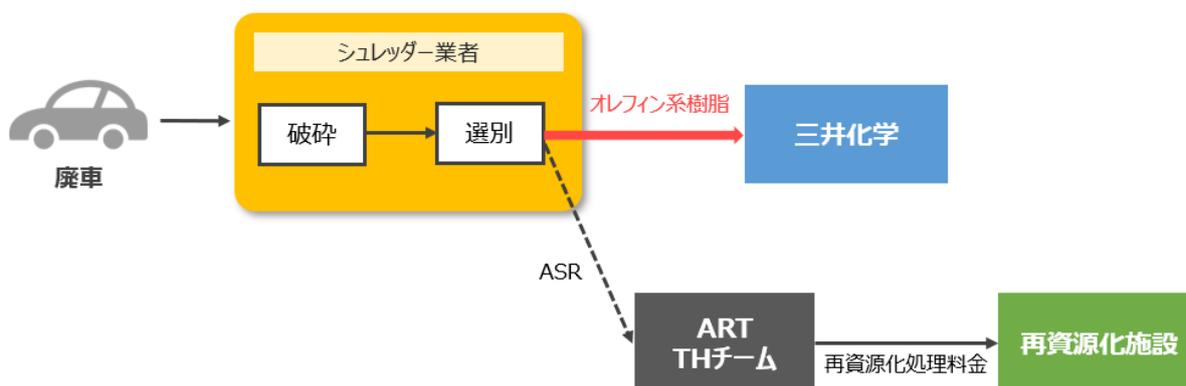


図 4-4. 選定した事業形態 (B ASR 再資源化施設の認定を受けないケース) 【再掲】

### (3) 調達先ネットワークの検討

事業形態に関わる検討の結果、破碎処理事業者ではSR処理費の高騰により再資源化施設認定を受けようという意欲が低下しているということから、油化事業を行う拠点の近隣でASRを集約してオレフィン系樹脂を選別する調達先ネットワークの構築は難しいと考えられる。

そこで、今年度の調達先ネットワークに関する検討では、再資源化施設の認定を受けていない破碎処理事業者に樹脂の選別設備を導入し、その業者から有価で原料（オレフィン樹脂）を購入することを想定した。

ASRを集約して樹脂の選別を行うことが難しいことから、1社からなるべく多くの原料を確保するため、国内に複数の工場を持つ大手事業者を主な調達先のターゲットとした。さらに、中小事業者へも選別設備の導入意欲をヒアリングし、原料調達の可能性を検討した。

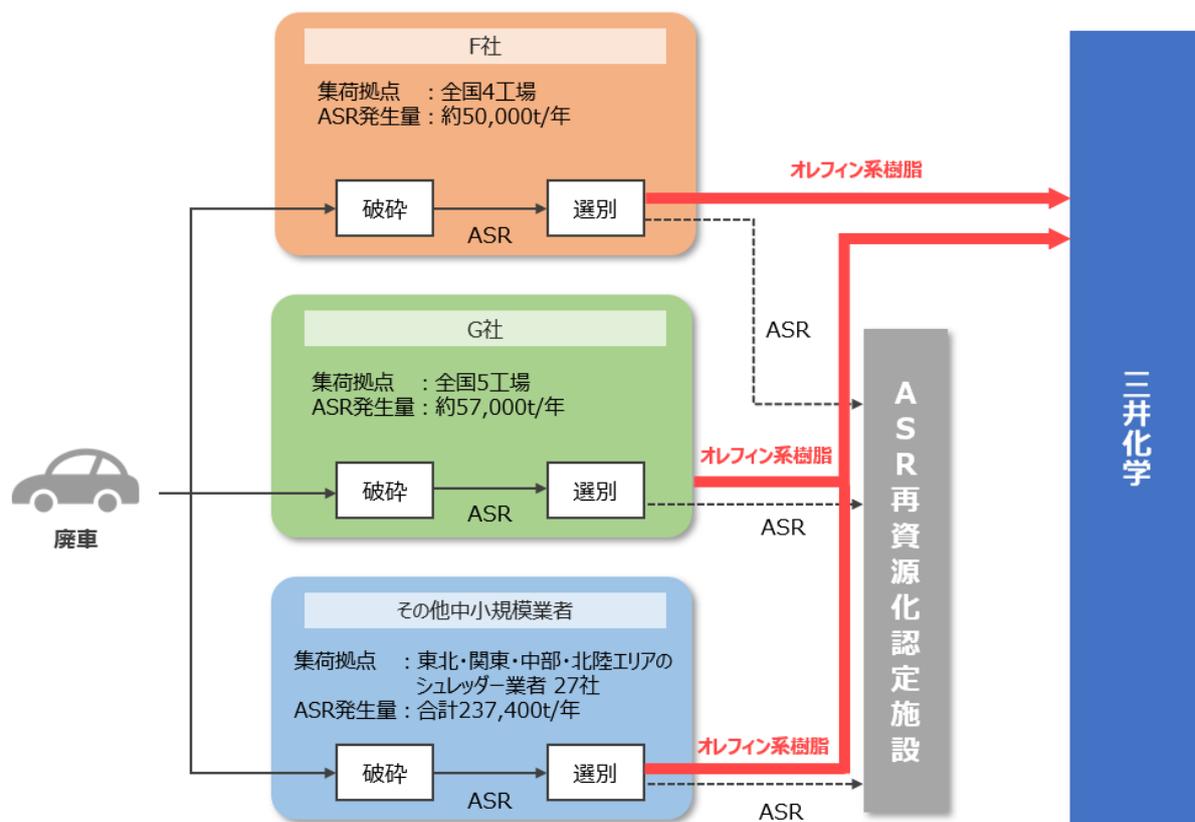


図 4-5. 事業スキーム（大手2社および中小事業者）

#### ① 大手2社からの調達可能性

出来るだけ事業規模が大きく、ASR発生量の多い事業者を原料調達の主要ターゲットとして検討することとし、全国5工場にシュレッダー設備を持つF社、全国8工場にシュレッダー設備を持つG社の大手2社を対象に検討を行った。

具体的には、大手 2 社からの協力を得て、本事業における原料調達先となることについて、事業スキームや調達量、採算性などの観点から検討を実施した。

## F 社

試算にあたっては、1 工場に最大規模の設備処理能力 3t/h、2 工場に処理能力 2t/h、残り 1 工場には処理能力 1t/h の設備を導入したと仮定した。

試算の結果、F 社の 4 工場からの合計で年間の推定調達可能量は 13,376 トンとなった。これは設備能力から算出した最大値であり、破碎処理を行う母材の集荷量の影響も受けるため、実際にはこの数値を下回るものと考えられる。

## G 社

試算にあたっては、1 工場に最大規模の設備（処理能力 3t/h）を導入し、その他の 4 工場に関しては小規模設備（処理能力 1t/h）を導入したと仮定した。

試算結果、G 社の 5 工場からの合計で年間の推定調達可能量は 11,704 トンとなった。F 社と同様、実際にはこの数値を下回るものと考えられる。

## ②中小事業者からの調達可能性

大手 2 社以外の中小事業者からの原料調達可能性について、3 社を対象にヒアリングを実施し、事業化に向けた課題を抽出、整理した。ヒアリングの結果を表 4-5 に示す。

### 【ヒアリング内容】

- ・各事業所における現状の ASR 選別処理プロセス
- ・選別処理設備導入への意欲、集荷拠点への集約
- ・競合動向（シミュレーション値の精緻化）

ヒアリングの結果、B 社は樹脂の選別設備の導入を検討しており、最も高度選別に関する意識が高いことがわかった。

H 社は、現状では ASR の選別を行っておらず、福島県内の製錬会社等でサーマル処理しているが、ダストの高度選別には高い関心をもっている。

また I 社も、現状では ASR の選別を行っておらず、福島県内の製錬会社等でサーマル処理している状況である。ただし、すぐに ASR の選別高度化設備の導入する見込みはないが、ASR の取扱量に関しては大規模事業者であることから、原料調達先として期待される。

表 4-5. 中小事業者からの調達可能性（ヒアリング結果）

	事業概要	調達可能性
B社	保有シュレッダーは2000馬力 自動車解体ラインもあり	ASRの選別高度化の検討をしている 本件事業化した場合には協力意向
H社	保有シュレッダーは1000馬力 シュレッダー設備は2015年設置で新しい	ASRの選別高度化の検討をしている 本件事業化した場合には協力意向
社	保有シュレッダーは1250馬力 処理量多くASRの発生も多い	ASRの選別高度化の検討はしていない 扱い数量の観点では大規模事業者 調達に関する意見交換を継続する

#### 4.3 原料調達量のシミュレーション（事業規模の想定）

大手2社および中小事業者のASR発生量およびオレフィン系樹脂の調達可能数量のシミュレーションを行った。

##### （1）推計方法（前提条件、計算方法など）

###### 大手2社

大手2社に関しては、ASR発生量や設備導入の対象となる拠点のヒアリングを行い、粉碎洗浄設備と水流比重選別設備を導入した場合の原料調達量を算出した。

###### 中小事業者

中小事業者に関しては、まず東北・関東・中部・北陸のシュレッダー事業者のうち、ASR年間発生数量1,778トン以上の事業者を集荷対象とした。（昨年度研究におけるコストシミュレーションに基づき、採算性を期待できる事業規模を設定）

その上で、三井化学/市原工場までの輸送費および購入価格、破碎処理事業者から樹脂を購入してリサイクルを行うその他の事業者とのシェア比率等を設定して原料調達量のシミュレーションを行った。前提条件や計算方法を表4-6に示す。

表4-6. 原料調達量の推計方法（前提条件）

	条件・計算式
集荷対象	東北・関東・中部・北陸の、ASR年間発生量1,778t以上の業者
油化原料発生想定量	ASRからの油化原料の回収率を20%と仮定 <sup>※1</sup>
距離	三井化学の事業拠点(千葉県市原市)から、各破碎処理事業者までの一般道での運行距離
概算運賃	三井化学の事業拠点からの距離が最も遠い破碎処理事業者(運行距離376km)までの運賃を5000円と仮定し、kmあたりの運賃を算出(約13.3円/km)
購入価格	ASR発生量が多いほど下記の通り購入価格を増額 ASR発生量1778t <sup>※2</sup> ~7110t⇒購入価格1000円/t ASR発生量7110t以上 ⇒購入価格2000円/t ASR発生量15000t以上 ⇒購入価格3000円/t
集荷量	破碎処理事業者より樹脂を購入してリサイクルを行うその他の事業者も存在すると考えられるため、本事業で獲得できるシェアを約6割と仮定

※1) 当初、ASRに含まれるオレフィン系樹脂の割合といわれている約30%を前提としてきたが、ASRから樹脂を選別している事業者へのヒアリングの結果、選別工程での歩留を考慮すると回収できるのは約20%との回答を得たため、本推計では回収率を20%として試算を行った。

※2) 2018年度の設備投資の採算性評価によると、設備の処理能力が200kg/時（年間でASR 1,778t 処理可能）以下の場合には設備投資を行っても採算が合わないとの結果になったため、ASRの年間発生量が1,778t以下の業者を集荷対象外とした。

(2) 推計結果

シミュレーションの結果、表 4-7 のとおり、F 社・G 社の大手 2 社および中小規模業者より調達できるオレフィン系樹脂は合計約 5.4 万トンとなった。

表 4-7. 原料調達量の推計結果

	集荷対象	原料調達量
F社	全国4工場	最大13,376トン/年
G社	全国5工場	最大11,704トン/年
中小規模業者	東北・関東・中部・北陸のシュレッダー業者 27社	29,179トン/年

#### 4.4 ASR 以外の原料調達に関わる検討

上記の検討結果に基づき、大手 2 社および中小事業者からのオレフィン系樹脂の調達量は約 5.4 万トンと試算した。しかしながら、大手 2 社からの調達量は設備能力の最大値の試算であること、全ての中小事業者が設備導入を行う可能性は低いことから、実際に調達できるオレフィン系樹脂はシミュレーションによる推計量の 3 割程度と仮定し、約 1.5 万トン程度になると推測した。

本実証では事業化の際の原料調達量を 5 万トンと想定しており、小規模プラントになるほど油化コストは上昇すると考えられるため、ASR 以外の原料調達に関わる検討を追加した。

具体的には、以下に掲げた容器包装由来の廃プラスチック、家電由来の廃プラスチック、小型家電由来の廃プラスチック、産業廃棄物/一般廃棄物の中間処理後の廃プラスチックなどを対象原料としている。

- ASR由来のみではオレフィン系樹脂5万トンの集荷ができない可能性あり  
⇒他社からの残渣の引取や、家電・容器材からのオレフィン系樹脂回収の可能性を検討。  
ASR由来のみの場合は三井化学での油化プラントのスケールダウンも要検討。

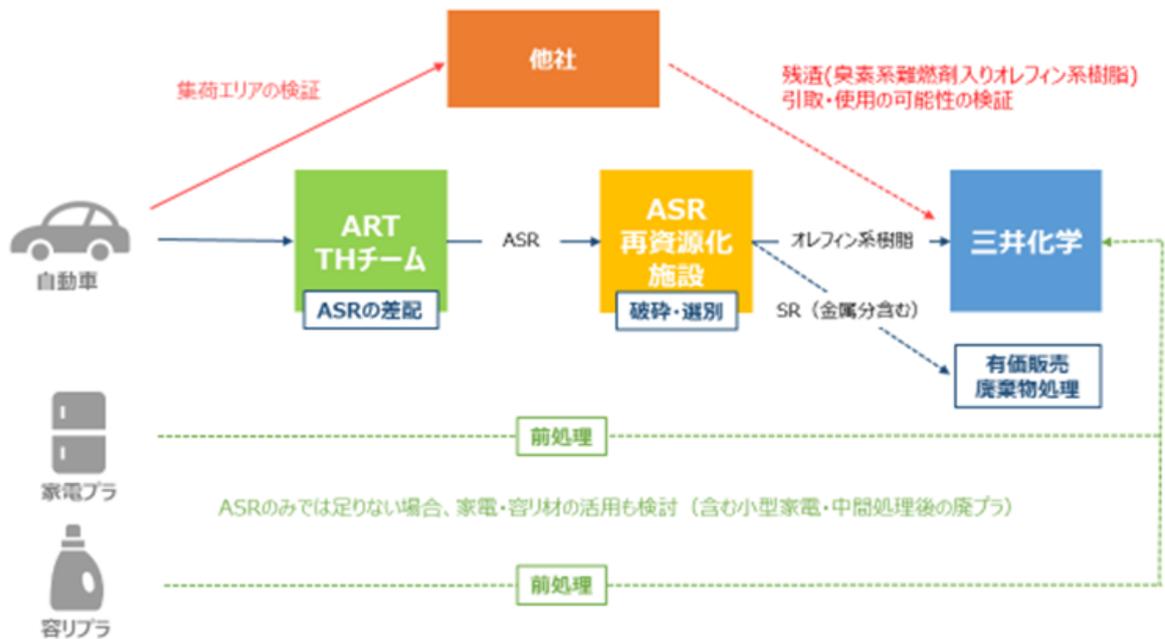


図 4-6. ASR 以外を含めた原料調達ネットワーク (イメージ)

### ① 容器包装由来の廃プラスチック

富山県内の大手樹脂リサイクル業者及び関東エリアの大手リサイクル事業者を対象にヒアリングを行った。

富山県内の大手業者では、容器包装由来の廃プラスチックの年間取扱量は約 3.5 万トンであり、現状はマテリアルリサイクルおよび焼却処理を行っている。容器包装由来のリサイクル原料は自治体からの入札品が大半であるため、集荷数量がばらつくことが事業上の課題となっている。

容器包装由来のリサイクル原料を分析したところ、窒素分と塩素分が高く、さらに原料の品質向上を行う必要がある。

なお、塩素分については、食品容器の内容物に含まれる食塩である可能性があり、容器の内部を含めて洗浄できれば塩素分を抑制できる可能性がある。

### ② 家電由来の廃プラスチック

廃家電リサイクルプラントより発生している単一樹脂は現状のマーケットでマテリアルリサイクルに向けられているケースが多く、油化原料としては、様々な種類の樹脂が混合した廃ミックスプラスチックと、マテリアルリサイクルに不向きな臭素系難燃剤入りの廃プラスチックが対象となる。

そこで、廃ミックスプラスチックと臭素系難燃剤入りの廃プラスチックの発生状況や現状の処理方法等について、千葉県内の家電のリサイクル業者にヒアリングを行った結果を以下に示す。

#### 廃ミックスプラスチック

- ・廃ミックスプラスチックに関しては、各リサイクルプラントにて手解体できない部分を破砕した物で、材質は PP・PE・ABS・PS 等が中心となる。
- ・同社では、他の廃家電リサイクルプラントから廃ミックスプラスチックを年間約 1.5 万トン程度集荷し、湿式ジグ選別、静電選別を実施している。

#### 臭素系難燃剤プラスチック

- ・臭素系難燃剤プラスチックは、主にブラウン管テレビのキャビネット等に使用されており、現状有価販売されている。
- ・同社では、廃ミックスプラスチックから選別した臭素系難燃剤入りの PP が約 100 トン/年発生している。

### ③小型家電由来の廃プラスチック

2019年12月に小型家電リサイクル認定事業者協議会にて、本事業に関する発表を実施し、原料調達に関わる課題等について意見交換を行った。

現状の小型家電リサイクル事業では、廃プラスチックの処理費の高騰に伴って現状の小型家電リサイクル法での処理スキームでは採算が合わず、事業者からは新たなリサイクル手法の確立が期待されている。

また認定事業者には小規模事業者が多く、各社での設備導入が難しい状況であり、ダストの状態を集荷し集約拠点で前処理を行うことも検討する必要があると考えられる。

### ④産業廃棄物／一般廃棄物由来の廃プラスチック

横浜の産業廃棄物処理施設に対するヒアリングでは、光学選別機にて選別を実施しているものの選別が不十分であり、廃プラスチックはオレフィン系を含め発生する全量（現状月間250トン）焼却処理されている。

このため、発生量、原料母材のトレースのしやすさ観点から、油化事業に対する優良原料となる可能性があると考えられる。

#### 4.5 事業化に向けた原料調達の検討課題

5万トンの原料を調達するための課題として、ASR由来原料の調達数量の精査が必要であり、事業化に向けては、以下の2点が検討課題である。

ASR由来原料のみで5万トン进行調達する場合、収率2割で換算すると母材となるASRを25万トン調達する必要があるが、現実的に考えて難しいと考える。遠方より調達すると運送コストも割高になることもあり、他品種の廃プラスチックの使用も検討に加えることとした。合わせて前処理工程でのコストダウンが必要であり、更なる検討を行う予定である。

課題①：ASR由来だけでは5万トンに満たない可能性が高く、他の集荷原料の検討をさらに行う必要がある（容器包装・家電・小家電由来の廃プラスチック、産業廃棄物の中間処理後の廃プラスチック）。

課題②：ASRの前処理プロセスにおけるコストダウン方法の更なる検討が必要であり、それにより原料調達面の経済性評価を再検討する。

## 5. 原料油化プロセス（2019 年度研究結果）

### 5.1 原料の要求品質基準の設定

#### （1）昨年度の小試験サンプルの分析結果

昨年度、小試験で用いたサンプルの分析結果を表 5-1 に示す。

- ・ サンプル A：手選別により回収した樹脂であり、ASR ではないが、品質評価の検討における基準サンプルとして分析対象に含めた。
- ・ サンプル B：樹脂種として AS/ABS 樹脂が含まれ、その結果、窒素分が高いと考えられる。またスチレン（St）ユニットも高く、生成油中に芳香族成分が残存するため、好ましくない。
- ・ サンプル C：サンプル B に比べて不純物は少ないものの、窒素分は依然として高い。ウレタン、アミド化合物由来と考えられ、これらの樹脂を除去・低減することが好ましい。

表 5-1. 昨年度 小試験で用いたサンプルの分析結果

		サンプル A	サンプル B (比重<1.1)	サンプル C (比重<1)
NMR	PP	76~79%	49~55%	55~57%
	PE	17%	27~32%	29~33%
	PET	< 1%	< 1%	< 1%
	PVC	< 1%	~1%	~1%
	St ユニット	< 1%	3%	< 1%
IR	樹脂種	ブロック PP	ブロック PP AS/ABS	ブロック PP
	その他成分		エステル、 アミド化合物	エステル、 ウレタン、 アミド化合物
その他	灰分	5%	10%	5%
	窒素分	138ppm	5178ppm	1400ppm
	塩素分	~200ppm	800~1800ppm	600ppm

(2) 今年度の調達サンプルの分析結果

今年度、新たに調達したサンプルの分析結果を表 5-2 に示す。サンプル D が窒素分、塩素分ともに最も低いが、窒素分についてはさらなる品質向上が望ましい。このため、5.2 節の油化試験においては、小試験では昨年度と同様にサンプル B を用い、ベンチ試験では最も不純物の少ないサンプル D を用いた。

表 5-2. 今年度 新たに調達したサンプルの分析結果

		サンプル D	サンプル E	サンプル F
NMR	PP	56~62%	52~56%	52~61%
	PE	26~32%	21~24%	26~31%
	PET	< 1%	< 1%	< 1%
	PVC	< 1%	~1%	< 1%
	St ユニット	< 1%	2%	< 1%
IR	樹脂種	ブロック PP	ブロック PP	ブロック PP
	その他成分		エステル、	エステル、
その他	灰分	9%	7~8%	5%
	窒素分	486ppm	2367ppm	500~1200ppm
	塩素分	~195ppm	760~1160ppm	~230ppm

(3) 原料の要求品質基準

ナフサクラッカーへ導入する組成としては、窒素、塩素といった不純物については低濃度が求められ、特に窒素分については極めて低い濃度とする必要がある。そのため、油化プロセスの原料の時点で低い不純物濃度とする必要がある。今回のサンプルの分析結果および油化プロセスでの低減検討結果をふまえ、目標品質としては表 5-3 に示すように、サンプル A 並みの濃度を原料の要求品質として設定した。

なお、ナフサクラッカーへ導入する際、通常のナフサと混合される場合、要求品質基準が変わる可能性もある。

表 5-3. 原料の要求品質基準

	成分	基準
樹脂構成	PP, PE, 灰分以外	1%未満
不純物	窒素分	200ppm 未満
	塩素分	100ppm 未満

## 5.2 油化試験（小試験・ベンチ試験）

昨年度の検討結果より、想定フローとして HiCOP 方式での反応後、水添工程にてオレフィン成分をパラフィン成分へ転換し、芳香族成分を分離するプロセスを構築した。

芳香族成分を分離するためには、抽出剤を用いた蒸留などが必要となり、プロセス全体に占める建設費の割合も高い。しかしながら、生成油中に含まれる芳香族成分はパラフィン、オレフィン成分に比べて少なく、ナフサクラッカーへ導入可能な濃度まで低減できれば、プロセスの簡素化が期待できる。

そこで、小試験では芳香族生成抑制を目的として、反応条件の検討を行った。一方、ベンチ試験は、小試験からのスケールアップ検証とあわせて、油化からクラッキング試験までの一連の評価を行うためのサンプル確保を目的とした。なお、本試験は、昨年度と同様に HiCOP 方式の特許技術の許諾を得ている環境エネルギー株式会社に委託した。

### （1）小試験結果

小試験は昨年度と同様の図 5-1 に示す装置にて実施した。

- ・ 反応器にあらかじめ触媒を投入しておき、攪拌しながら昇温し、所定の反応温度となったところで原料を室温のまま投入する。投入された原料は反応器内で触媒と接触して分解し、ガスとなる。
- ・ 反応器を出た分解ガスは還流塔にてわずかに冷やされ、液化した高沸点成分は反応器に戻る。それ以外の成分については、熱交換器にてさらに冷やされ、油とガスに分離される。

芳香族生成を抑制するためには、反応を進行させ過ぎないことが重要と考え、分解ガスが反応器から留出する箇所の温度（以後、還流温度）を上げ、さらに反応器内に通気しているキャリアガス流量を増加させ、その影響を調べた。

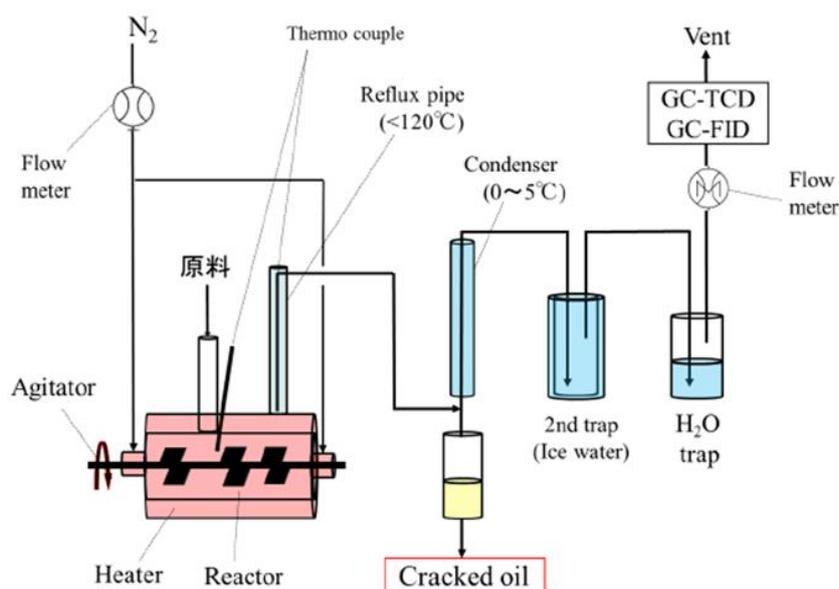


図 5-1. 小試験装置

実験結果を図 5-2 に示す。図は、生成油の GC-MS 結果の Area 比より算出した芳香族の含有割合である。

- ・ 還流温度については、芳香族の割合はむしろ増加しており、還流温度での制御は困難であった。
- ・ またキャリアガス流量の増加により、芳香族が減少する傾向が見られるものの、その効果は小さい。

いずれの条件においても、炭素数分布は炭素数が増える方向にシフトし、分解は抑制されたものの、反応条件の変更のみでは芳香族抑制は困難であることが分かった。しかし、芳香族成分の中には AS もしくは ABS 由来と思われる窒素を含有する芳香族も含まれており、前処理プロセスによって原料の ASR 中から芳香族を低減することも必要である。

そこで、次のベンチ試験では AS/ABS 樹脂をできるだけ含まない樹脂を選定し、還流温度やキャリアガス流量は増加させず、基準条件で実施することとした。

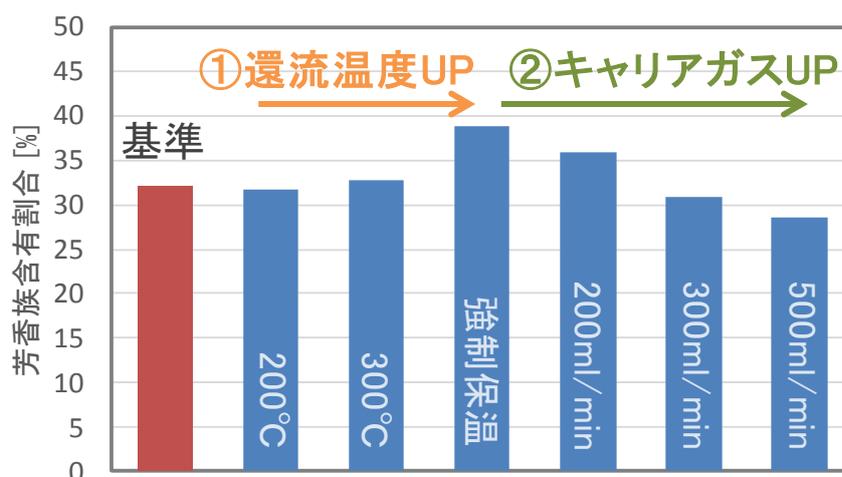


図 5-2. 芳香族生成の抑制検討結果

## (2) ベンチ試験結果

クラッキング試験までの一連の評価のためのサンプルの確保とあわせて、スケールアップ検証のため、ベンチ設備にて油化試験を実施した。装置への ASR 投入量は、平均 10kg/h 程度であり、反応温度は小試験での基本条件と同様に 430°C とした。得られた油の炭素数分布を図 5-3 に示す。

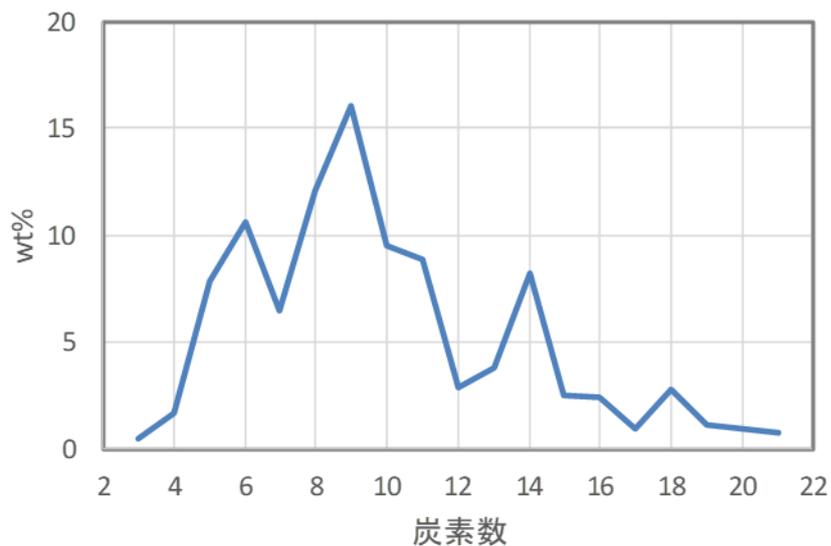


図 5-3. ベンチ試験における生成油の炭素数分布

分解油は C10 以下の成分がメインであるが、ナフサに比べて重質成分も含まれているため、クラッキング試験に供す前に、重質成分は蒸留により分離することとした (5.3.2 参照)。

### 5.3 精製試験（不純物除去、蒸留分離）

#### 5.3.1 不純物除去

油化により得られた生成油をナフサクラッカーに導入するにあたり、懸念成分の中でも特に濃度が高いのが窒素分である。この窒素分は、原料中に含まれる AS/ABS やウレタンなどに由来すると考えられ、前処理プロセスである樹脂選別方法により、ある程度までは削減可能と考えられる。しかし、原料中から完全に除去することは困難であり、また原料調達コストの増加につながる。

そこで、生成油中に含まれる窒素分の除去方法の探索および条件検討を行った。

窒素分の除去方法としては、蒸留による分離や抽出、吸着剤による除去、水素化分解による脱窒素などが挙げられる。

初期検討として抽出および吸着剤による除去について検討を行った。

まず、窒素分がどのような形態で存在するのか把握するため、酸性（1N 硫酸）および塩基性（1N 水酸化ナトリウム）の水溶液との抽出により、油中の窒素濃度に差が見られるか確認した。なお、抽出は室温で実施し、油と水溶液の体積比は 1 : 1 とした。結果を図 5-4 に示す。

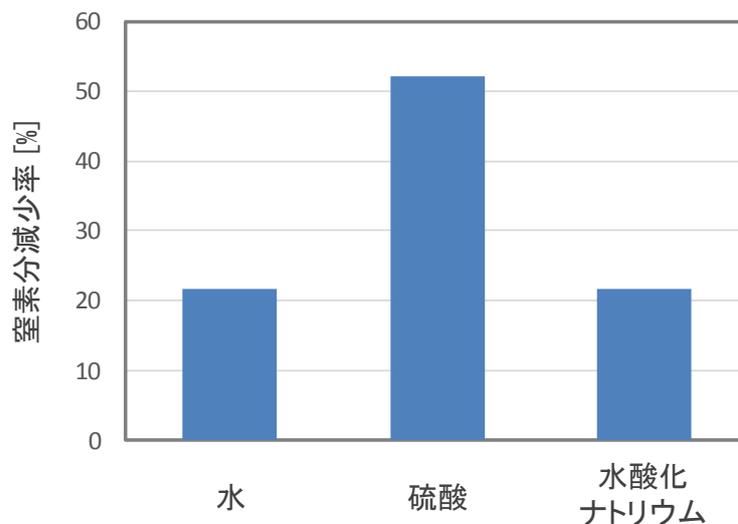


図 5-4. 酸性/塩基性水溶液の抽出による窒素分減少率

水酸化ナトリウムでは水と同程度の減少率であるが、硫酸では半分程度まで減少できることが分かる。このことから、窒素分の一部はアミンなどの塩基として存在すると推察する。

また、原料に含まれる窒素分は、濃度や由来（AS/ABS、ウレタン等）が一定ではないと考えられるため、原料品質のばらつきによる影響を把握することも必要であると考えられる。

### 5.3.2 蒸留分離

油化プロセスにおいて、反応（油化）工程からの分解ガス中には、ナフサよりも重質成分が含まれるため、この重質成分を蒸留分離し、反応工程へ戻すことを想定している。ベンチ試験の分解油を用いて、クラッキング試験に供す C10 以下の成分を回収するとともに、蒸留条件の確認を行った。なお、蒸留試験は大阪油化工業株式会社にて実施した。

#### (1) 小スケールでの試験蒸留

本蒸留に先立ち、1L スケールで試験蒸留を行った。バッチ蒸留のため、加熱および減圧させながら留出物を回収、分析を行った。得られたサンプルの外観を図 5-5 に示す（Fr-1～16 に分けて回収し、フラクション番号が奇数のものを撮影）。

軽沸成分は無色透明に近く、高沸になるにつれて濃い褐色となっている。GC 分析結果から、Fr-8 までが C10 以下がメインであり、問題なく分離できることを確認し、本蒸留も同様に実施することとした。



図 5-5. 試験蒸留のサンプル外観

#### (2) 本蒸留結果

本蒸留は、ベンチ試験の分解油 80L を 40L ずつに分け、50L のガラス製装置にて 2 バッチ実施した。本蒸留も試験蒸留と同じくバッチ蒸留であり、蒸留後の炭素数分布を図 5-6 に示す。

図より、Fr-10 までが C10 以下がメインであり（試験蒸留と本蒸留でフラクション毎の回収量は異なる）、Fr-10 までを次の水添・クラッキング試験の原料として用いることとした。

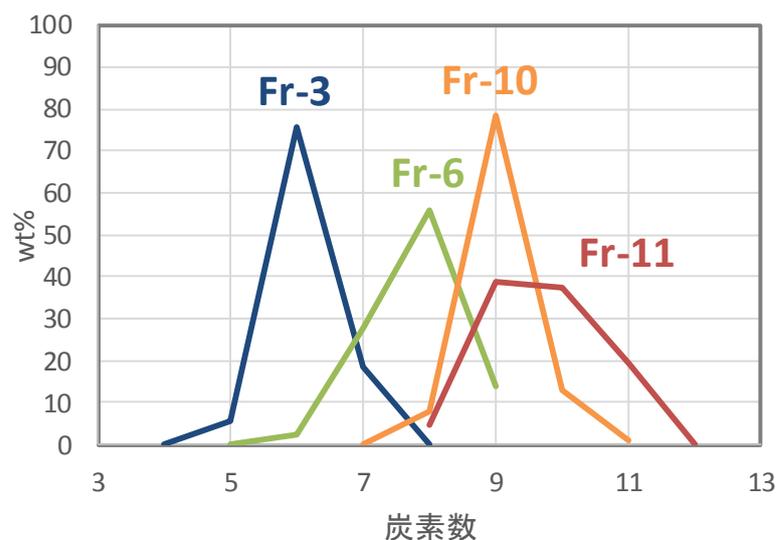


図 5-6. 本蒸留後の炭素数分布

#### 5.4 水添・クラッキング試験

ASR の油化により得られた油から、ナフサと同様にエチレン、プロピレンが得られるか、クラッキング試験を行った。クラッキング試験を行うにあたり、ナフサに比べて分解油中にはオレフィンが多く含まれることから、オレフィンをパラフィンへ転換するための水添反応も実施した。なお、水添反応、クラッキング試験ともに株式会社 KRI にて実施した。

水添後の分解油を用いて、クラッキング試験を行った結果、ナフサに比べると、エチレン/プロピレン比に多少の違いはあるものの、ナフサ同等のガス組成が得られ、本プロセスによりナフサ相当の組成をもつ液が得られることを確認した。

## 5.5 原料油化プロセスの見直し

2019年度の検討結果を踏まえ、2018年度に作成した原料油化プロセスの想定フローの見直しを実施した。修正を行った点は以下である。

- ・不純物除去に関する精製工程の見直し
- ・(廃プラスチックの処理量を5万トン/年から1.5万トン/年へ変更)

想定フローを図5-7に示す。反応器は2018年度の検討と同様、HiCOP方式としている。各工程の概要は以下の通りである。

- ・分解工程：廃プラスチックを連続的に投入し、廃プラスチックは分解されてガスとなる。また、タルク成分等の残渣を排出する。
- ・精製工程①：分解ガス中の重質成分(>C10)を分離する。重質成分は分離工程へ戻す。
- ・精製工程②：C4以下の軽質成分を分離する。
- ・懸念成分の分離工程：分解油中に含まれる懸念成分を除去する。
- ・水添工程：オレフィン成分をパラフィン成分へ転化する。
- ・精製工程③：芳香族成分を分離して、ナフサ相当成分を回収する。

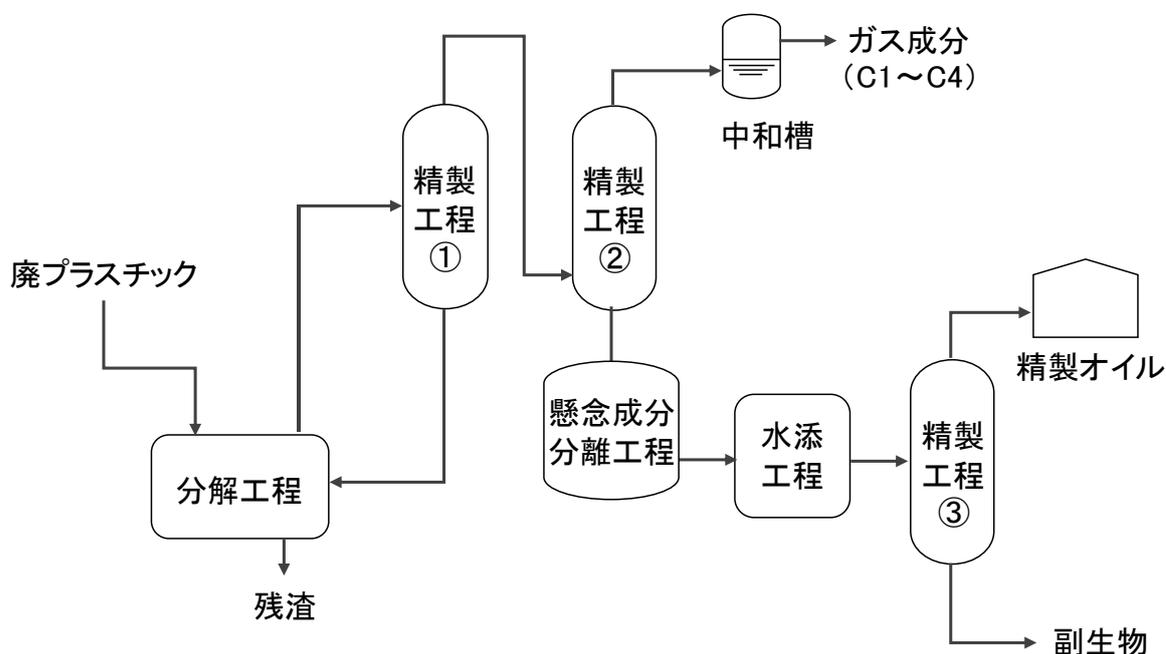


図5-7. 原料油化プロセスの想定フロー

## 5.6 事業性評価

コスト算出の前提条件として、これまで廃プラスチック（調達したオレフィン樹脂）の処理量を5万トン/年としていたが、原料調達量のシミュレーション結果を踏まえて、1.5万トン/年へ変更して事業性評価を行った。試算では、建設費および操業に関わる固定費・比例費を考慮した。

その結果、ナフサ価格を40～80円/kg-ナフサとすると、処理コストはナフサ価格に対し数倍程度の乖離があることが判明した。

### 【前提条件】

- ・原料処理量：1.5万トン-オレフィン樹脂/年
- ・建設費：建設費は油化設備本体に関わる費用のみであり、工場内設備からの用役配管といった付帯設備工事は考慮していない。

また、原料調達コストに関しては、破碎処理事業者のASR取扱数量規模、また前処理プロセスに関わる設備投資への補助の有無や高度選別に対するインセンティブなどを考慮した簡易試算では、調達コスト額が事業性評価に与える影響が大きく、更なるコスト削減が必要であることがわかった。

このため、引き続き、異物除去のための前処理プロセスから、ASRおよびASR以外からの調達先ネットワーク、原料油化プロセスまで、全般にわたってコスト低減のための方策を検討し、原料調達コストおよび原料油化リサイクル事業の事業性評価を見直す必要がある。

## 6. 本研究3年間の成果まとめ

### (1) 原料の要求品質基準と前処理プロセス

水流比重選別や水槽での比重選別を行ったサンプルを分析したところ、要求品質基準に対して窒素分と塩素分の値が高い結果となったため、窒素分の原因となるABS・ウレタン・ナイロン等、塩素分の原因となるPVCの混入を抑えるための前処理プロセスの検討を行った。

その結果、ASRから手選別で樹脂を回収し、粉碎洗浄、水流比重選別、水槽での比重選別を実施したD社のサンプルでは、ABSやPVCの混入が抑えられ、窒素分・塩素分とも最も低い値となった。また、比重選別の後にゴム除去、静電分離、エアテーブル等の乾式選別を実施することでウレタンやナイロン等の混入を抑えられることが分かった。

しかしながら、ASRからの手選別による樹脂回収や、水流比重選別と水槽での比重選別の両方を行うこと、乾式選別プロセスを追加することにより選別コストが増大し、原料の販売価格が高騰する可能性がある。事業化に向けては選別プロセスでのコスト低減の検証が必要となる。

以上の研究成果として、現時点における要求品質基準（案）と前処理プロセス（案）は以下のとおりである。

表 6-1. 原料の要求品質基準（案）【再掲】

	成分	基準
樹脂構成	PP, PE, 灰分以外	1%未満
不純物	窒素分	200ppm 未満
	塩素分	100ppm 未満

注) 通常のナフサと混合してナフサクラッカーへ導入される場合、要求品質が変わる可能性もある。

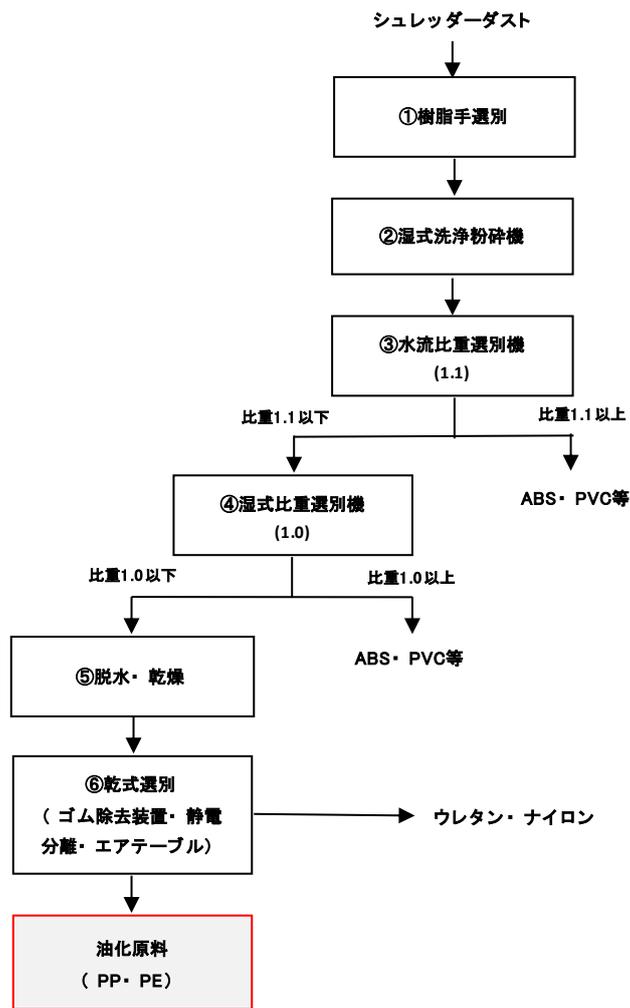


図 6-1. 前処理プロセス (案) 【再掲】

## (2) 調達先ネットワーク

本研究では、油化の原料となる ASR から抽出したオレフィン系樹脂の調達目標を 5 万トンとしている。ASR 中に含まれるオレフィン系樹脂は 30%程度とされているが、選別による歩留まりを勘案し、収率は 20%と試算した。原料調達に関するシミュレーションの結果、大手 2 社および中小事業者で合計約 5.4 万トンのオレフィン系樹脂の発生が推定されるが、大手 2 社からの調達量は設備能力の最大値の試算であること、全ての中小事業者が設備導入を行う可能性は低いことから、実際に調達できるオレフィン系樹脂はシミュレーションによる推定量の 3 割程度と仮定し、約 1.5 万トン程度になると推測した。

そこで、調達先ネットワークとしては、①ASR 由来のオレフィン系樹脂 1.5 万トンを調達する基本ケースと、②ASR 以外のオレフィン系樹脂 3.5 万トンをあわせて合計 5 万トンを調達するケースの 2 通りを設定した。

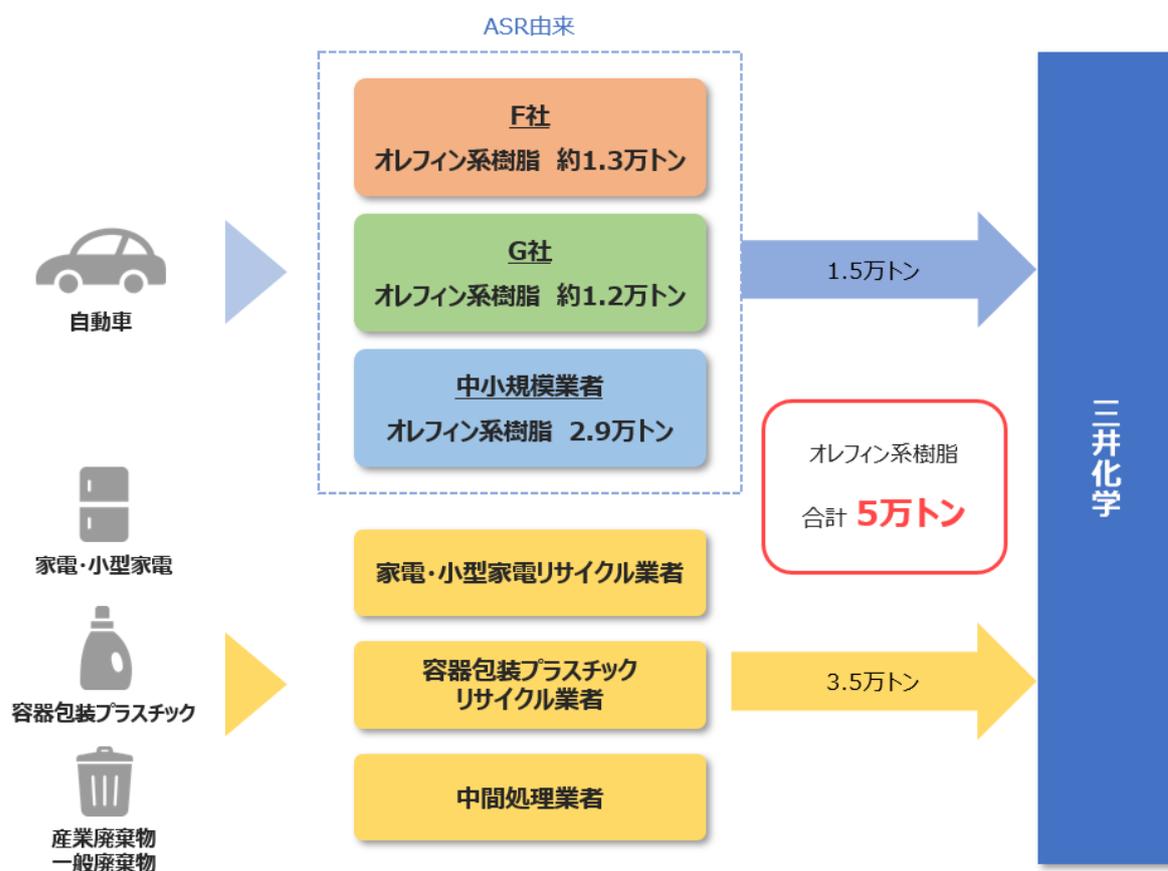


図 6-2. 調達先ネットワーク (1.5 万トン、5 万トン)

### (3) 原料油化プロセス

ASRのリサイクルプロセスとして、HiCOP方式より得られた生成物から、オレフィン水添工程にてパラフィンへ転換した後、芳香族成分を分離除去し、ナフサ相当成分を得る原料油化プロセスを構築した。

なお、次年度以降、原料油化プロセスに関わる課題としては、以下の内容が挙げられる。

- ・ 調達原料 : 原料品質の変動幅の把握、ASR以外の可能性の検討
- ・ 分解工程 : 反応条件の最適化
- ・ 懸念成分分離工程 : 工程の最適化
- ・ 水添工程 : 最適条件の検討
- ・ 水添後の精製工程③ : 工程の簡略化

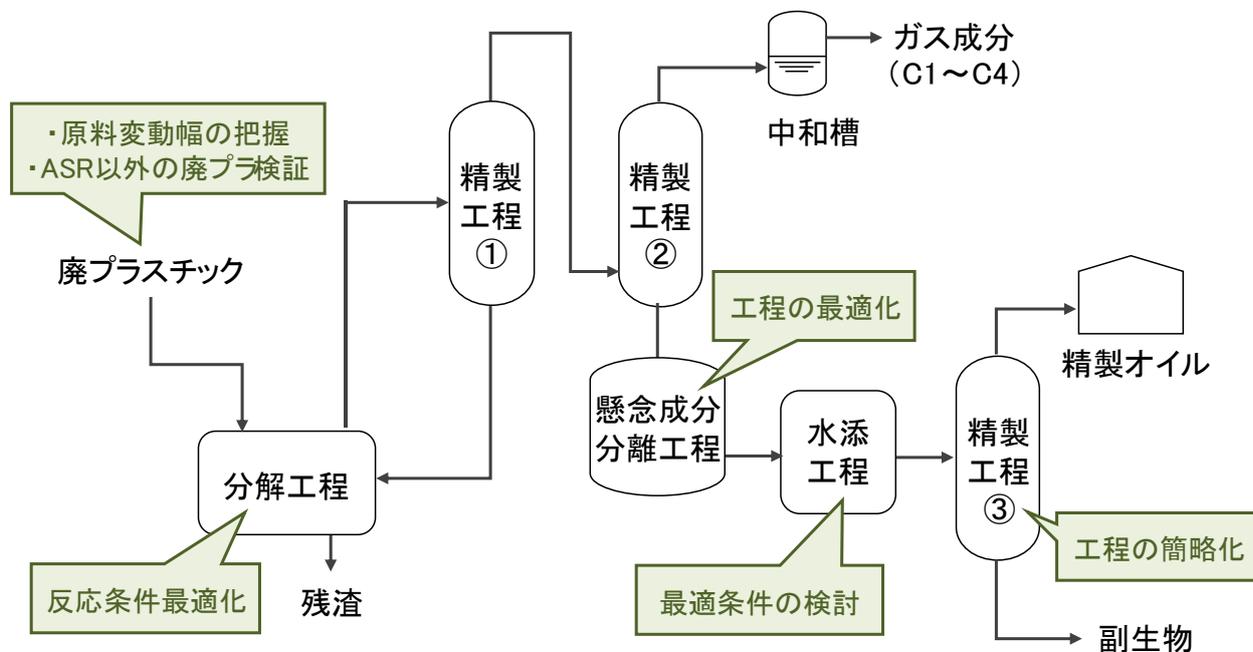


図 6-3. 原料油化プロセスと残課題

### (4) 事業の経済性評価

想定原料油化プロセスにおいて、クラッカーへ導入可能なナフサ相当の液を得るためのコストは、処理量 1.5 万トン/年の場合、ナフサ価格を 40~80 円/kg-ナフサとすると、事業コストはナフサ価格の数倍程度になると算出した。

## 7. 事業化に向けた課題（次年度以降の取組課題）

### （1）要求品質確保のための前処理プロセス

2019年度の検討により、要求品質を確保するための前処理プロセスが明らかになった。しかしながら、ASR から樹脂を手選別で回収すること、水流比重選別と水槽での比重選別の両方を行うこと、乾式選別を行うこと等によるコストの増大が課題となっており、事業化に向けては前処理プロセスでのコストダウン検討が必要となる。

具体的には、比重溶媒を使用した水槽での比重選別や、海外製の設備の検討を行う予定である。比重溶媒を使用した水槽での比重選別により樹脂を3段階に分け、上層のオレフィン系樹脂を油化原料として使用、中層の塩素分の少ない樹脂をセメントメーカーでの燃料代替に使用、下層の塩素分の多い樹脂は低温過熱脆化処理を行うことで、残渣処理費のコストダウンができると考えられる。

### （2）原料調達ネットワーク

大手2社と並行し、中小事業者からの調達シミュレーションを行った結果、1.5万トン程度の原料調達量となり、当初想定していた5万トンには不足することがわかった。このため、事業化に向けては、ASRからの調達量の精度向上とASR以外からの原料調達に関わるさらなる検討が必要である。

具体的には、次年度の課題として以下内容を検討する必要がある。

- ・ ASRからの調達量の精度向上（設備投資を含めた事業スキームに関する具体化）
- ・ ASR以外からの原料調達可能性（品質、量、調達ルート等からみた適応可能性）
- ・ 原料油化に適さない樹脂分（ASRに含まれる）の出口確保のための検討  
（石油精製業界、セメント業界等との連携、サプライチェーン構築などを想定）
- ・ 原料調達の経済性評価（原料調達コストの精査）

### （3）原料油化プロセス

生成油をナフサクラッカーへ導入するにあたり、最も懸念となるのが窒素分である。今年度の検討結果を踏まえて、条件検討、設備設計を行う。また、プロセスのコストダウンに向けて、芳香族の抑制（精製工程の簡略化）や触媒コスト削減のための反応条件に関わる検討とともに、プロセスの確度向上に向けて、原料品質の変動幅の把握やASR以外の廃プラスチックでの検討を行う。

#### (4) 事業計画検討および事業性評価

ナフサクラッカーへ導入可能な品質の油を得るためには、前処理プロセスである樹脂選別工程における選別精度の向上や油化後の精製工程の高度化が必要であり、いずれの場合もコストアップとなる。各工程での要求品質を見極め、事業全体としてコスト優位となるプロセスを構築する。また、ASR 以外にも対象とする廃プラスチック種を拡張し、スケールアップによるコストダウンを図る。