

# 廃プラスチック熱分解油化プロセスの開発

Development of Thermal Cracking Liquefaction Process for Plastic Waste

技術本部 末岡靖裕\*1 甘利 猛\*2  
横浜製作所 松田 俊\*3 佐藤 繁博\*4

容器包装リサイクル法の処理対象である“その他プラスチック（PETを除く）”の再商品化に対応すべく、異物の混入した廃プラスチックを低コストで長期間安定的に処理できる、熱分解式油化技術の開発を行った。5 t/d 実証プラントを用いて、分別回収された廃プラスチック主体のごみを対象に実証試験を行い、油回収率 0.58 l/kg-ごみ を得た。実機化に際しては、スケールアップ及び油回収系の安定運転に関し、更なる検討を要する課題も残されているが、当社プロセスの砂を用いた油化原理の妥当性が実証されたと考えている。今後、廃プラスチック再商品化手法の一つとして油化が普及するためには、精油プロセスへのリサイクルといった回収油の利用方法に対する国を挙げた検討が必要である。

To liquefy municipal plastic waste inexpensively, we developed thermal cracking process using hot sand. The features of this process are an availability for foreign materials with plastic waste and a stable operability. We constructed a demonstration plant with a capacity of 5 ton per day. The test results attained a liquefaction yield of 0.58 l-oil/kg-feed and we confirmed the principle of this new process. To design commercial plant, it is necessary to study scale up methodology of reactor and improve operability of recovered oil handling system. We will study to expand an application of the recovered oil in order to enhance a feasibility of this process.

## 1. ま え が き

我が国のプラスチックの総排出量は、平成9年度には年間949万tにも上り、その大半は埋立ないし焼却処理され、再利用率は13%にとどまっている。これに対し、平成7年に容器包装リサイクル法が成立し、まずPETボトルの分別収集と再商品化が開始され、さらに平成12年4月からPETボトル以外の“その他プラスチック”に対しても適用が開始されたところである。

現在、廃プラスチックのリサイクル手法としては、マテリアルリサイクルと油化のほかに、高炉及びコークス炉吹込みとガス化が認められ再商品化が始まっているが、これらの再商品化処理に際しては、“その他プラスチック”に混入が避けられない金属・ガラス等の異物の除去（前処理）に費用が掛かるケースが報告されている。このため当社は、異物の混入した雑多なプラスチックを長期間安定的に処理できる施設であれば処理費用を下げる可能性があると考えて、前処理の不要なプロセスを考案し、基礎試験<sup>(1)</sup>とパイロット試験<sup>(2)</sup>を実施した後、茨城県牛久市に5 t/d 実証プラントを建設して、実証試験を行ってきた。本報では、その結果について報告するとともに、実機化に当たっての課題を述べる。

## 2. プロセスの特徴

図1に本プロセスのフローを示す。本プロセスは砂を熱媒体としたプロセスであり、以下の特徴を有している。

### (1) 前処理の簡素化

全系にわたって砂と廃プラスチックを直接混合した状態で取扱うため、金属、ガラス等の異物の混入が問題とならず、従来、設備費の大きな割合を占めている前処理設備<sup>(3)(4)</sup>

を簡素化できる。

### (2) 熱分解工程でのコーキング発生の回避

高温の砂を熱媒体とし、廃プラスチックにこれを直接混合し、加熱するため、従来の間接加熱方式の油化設備において問題となるプラスチック加熱壁面でのコーキングトラブルを回避できる。

### (3) 安全で安定した残渣(さ)の処理と有効利用

通常、プラスチックの熱分解では、分解後に炭素を主体とする残渣（以下、チャーと称す）が発生するが、このチャーの処理が問題となる。

本プロセスでは、チャーは砂に混合された形で、系外に取出すことなく残渣焼却炉に運ばれ、そこで燃焼させるため、高温で可燃性の熱分解残渣の抽出し操作が不要であり安全性が高い。また、残渣焼却炉でのチャーの燃焼熱は砂を加熱するために使用されており、残渣が効率的に使用されている。このため、通常油化プロセスでは不適物と考えられている熱硬化性プラスチックや、その他の有機物も熱源として有効に利用することができる。また、焼却残渣は可燃物を含まず、通常の焼却灰と同様な処理が可能である。

### (4) 簡便な熱分解ガスの軽質化

ポリエチレンなどは熱分解でワックス分が生成し、油の流動性を低下させるため、装置閉そくや回収油品質の低下を招く。本プロセスにおいては、熱分解槽上部に設置した還流塔にて分解油（ガス状態）を冷却し、ガス中に存在する重質分（回収油中でのワックスとなる）を凝縮させて、熱分解槽に還流し、再分解することにより、軽質化する方式を採用している。本方式は、従来プロセスで採用されている触媒による分解方式よりも簡便で、運転・保守が容易である。

\*1 横浜研究所環境装置研究推進室主席

\*3 環境装置技術部機械設計課主席

\*2 横浜研究所熱・化学研究室

\*4 環境装置技術部機械設計課

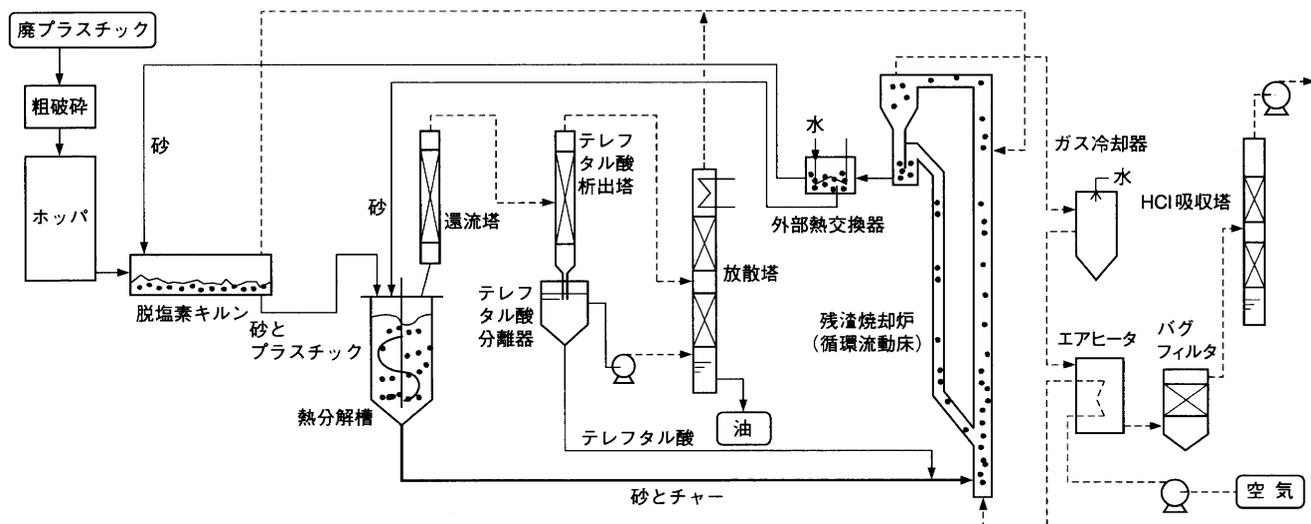


図1 熱分解油化プロセスフロー プロセスの実証プラントベースでのプロセスフローを示す。  
Thermal cracking liquefaction process of plastic waste

### 3. 実証試験

平成9～10年にかけて実施した処理量0.5t/dのパイロットプラントによる試験結果<sup>(2)</sup>を基に、茨城県牛久市に処理量5t/dの実証プラントを建設し、プロセスの実証及び経済性の検討を行った。本プラントは、中小規模の都市（人口7万人規模）で分別収集される廃プラスチックを処理できる能力を有しており、大都市あるいは広域処理を対象とした50t/d規模（人口70万人規模）のプラントの1/10のスケールを有している。

#### 3.1 プラントの構成

図2に実証プラントの外観を示す。本プラントは、原料の受入設備、油化設備及び油の貯蔵設備から構成される。また、油化設備は、粗破碎工程、脱塩素工程、熱分解工程、油回収工程、残渣焼却工程、排ガス処理工程で構成される。

原料の受入れ設備は、3方を囲まれた倉庫であり、原料はここからホイールロードで搬出され、粗破碎工程のホッパに投入される。粗破碎工程では、受入れた廃プラスチック主体のごみを、せん断式破碎機を用いて、150mm以下程度に粗破碎する。脱塩素工程では、ロータリキルンを用いて原料を高温の砂と混合し、加熱（約300℃）する。ここで、原料中の水分は蒸発し、ポリ塩化ビニル等の塩素分は塩化水素として分離される。熔融したプラスチックは、砂と共にスクリュコンベヤで熱分解槽に送られる。分離された塩化水素ガスは、水蒸気及び少量発生する炭化水素ガスと共に残渣焼却炉に導かれ燃焼される。

熱分解工程では、熱分解槽に縦型の機械式攪拌槽を用い、ここでキルンから排出される脱塩素後の熔融プラスチックと砂の混合物を受入れると同時に、新たに高温の砂を受入れ、均一に混合し、加熱（約450℃）する。熱分解ガスは、熱分解槽上部の還流塔にて約300℃まで冷却され、ガス中の重質分は熱分解槽に還流され再分解されることにより、軽質化される。

油回収工程は、テレフタル酸析出塔、テレフタル酸分離器及び放散塔から成る。還流塔を通過した熱分解ガスは、テレ

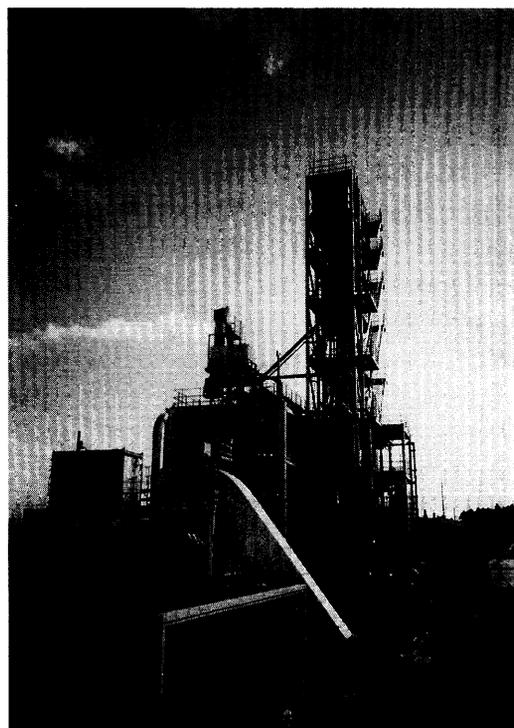


図2 実証プラントの外観 5 t/d実証プラントの外観を示す。  
Photograph of 5 t/d demonstration plant

フタル酸析出塔にて冷却されて液化されるが、この液に含まれるテレフタル酸（PETの分解生成物）は固体として析出し、テレフタル酸分離器にて沈降分離される。テレフタル酸は300℃以下になると固体として析出する昇華性物質であり、配管閉そくの原因となるため、この工程にて、析出・分離する。分離したテレフタル酸は残渣焼却炉にて燃料として有効利用する。テレフタル酸析出塔で凝縮しない熱分解ガス及びテレフタル酸分離後の凝縮油は、放散塔に導かれ、ここで、油中に溶解している炭素数1から4の炭化水素ガスや、塩化水素、一酸化炭素などの無機ガスが分離・除去され、油として回収される。放散塔においては、温度調節により低沸点留

分の除去も可能である。

残渣焼却工程では、循環流動床を用いて、熱分解槽から排出される残渣中の可燃分、熱分解ガスから分離されたテレフタル酸、放散塔及びキルンからの排出ガスを完全燃焼させて無害化するとともに、流動媒体の砂は加熱再生されキルン及び熱分解槽へ再循環される。なお、砂は循環流動床炉において炉頂まで吹き上げられ、砂分離槽で捕集されて炉内へ循環するが、その一部が外部熱交換器を経て、キルン及び熱分解槽へ重力落下により供給される。燃焼工程の排ガスは、排ガス処理工程を経て系外へ排出し、焼却残渣は不燃物として分離する。

3.2 運転概要

茨城県牛久市において分別収集された廃プラスチック主体のごみを原料として、延べ94日間の連続運転を行った。表1に原料ごみの性状を示す。本原料ごみの組成は水分が約11%、また、油化に適するポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレンの3種が合せて約58%含まれていた。また、再商品化の過程で問題を起しやすい塩素系廃プラスチック(PVC, PVDC)が約6%、PETが約7%含まれていた。

実証試験においては、パイロット試験に比べ油回収率の低下が問題となった。その第一の要因として、キルン及び熱分解槽において、高温の砂とプラスチックが接触することにより過度の熱分解反応が生じ、軽質ガスの割合が増大していることが分かった。また、第二の要因として、熱分解槽底部からコンベヤを経由して残渣焼却炉へ分解ガス(油蒸気)がリークし、ロスとなっていることが分かった。これらに対し、熱交換器による供給砂の冷却と、コンベヤの砂層のマテリアルシール性を向上する改造を行うことにより、油回収率の向上が図られた。また、油回収工程においては、熱分解条件によってはテレフタル酸と共に、安息香酸、塩化アンモニウム等が配管閉そくの要因となったため、これら析出物の分離と安定排出の改善が必要であった。

以上の改善運転により、連続安定運転下におけるプラント

データが得られるとともに、運転上のノウハウの蓄積がなされた。

3.3 実証試験結果

(1) 熱分解及び油回収

受入ごみ重量ベースの油回収率は、安定運転時の全平均(94h:約4日間)で40wt% (0.47 l/kg-ごみ) が得られた。図3に油、残渣、ガスの収率を示す。また、本連続運転中、最も長い滞留時間を設定した条件では、約12hにわたって50wt% (0.58 l/kg-ごみ) という結果が得られた。

なお、従来の油化技術による油回収率の実績<sup>(5)(6)</sup>としては、油化不適物の選別(前処理)を行った原料に対して40~50%程度である。当社プロセスは油化不適物の選別を行っていないが、容器包装リサイクル法に基づく分別基準非適合物の除去が徹底できれば更なる油回収率の向上が期待できる。

試験で得られた、油回収率(投入ごみベース50%)をエネルギー回収率(回収油の保有熱量/受入ごみの保有熱量)に換算すると75%となる。

(2) 油の品質及び用途評価

得られた回収油の主な油の性状を表2に示す。回収油の品質は廃プラスチック油化熱分解油標準情報(日本規格協会発行)に示された規格値をほぼ満足していることを確認できた。

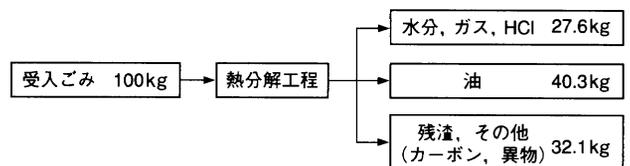


図3 油の収率 牛久市において分別収集された廃プラスチック主体のごみを油化した結果、油の収率は受入ごみ重量ベースで40wt%であった。  
Yields of thermal cracking of plastic waste of Ushiku-city

表1 供試原料ごみの性状

Properties of plastic waste as feed

組成分析 (湿ベース wt %)	水分 灰分 可燃分	11 6.2 82.8
元素分析 (乾ベース wt %)	C	74.0
	H	11.8
	N	0.53
	S	0.04
	O	6.43
	Cl (揮発性)	1.14
	Cl (不揮発性)	0.54
低位発熱量 (kcal/kg-乾ベース)		8170
プラスチック類 の組成 (乾ベース wt %)	ポリエチレン	31.8
	ポリプロピレン	16.4
	ポリスチレン	17.4
	ポリ塩化ビニル	6.0
	ポリ塩化ビニリデン	1.3
	ポリエチレンテレフタレート (PET)	7.9
	その他	19.2

表2 回収油の性状

Properties of recovered oil

条件	原料 熱分解温度 (°C)	牛久市分別プラスチックごみ 460
回収油の 性状	蒸留性状	
	初留点 (°C)	131
	50%留出温度 (°C)	226
	終点 (°C)	500
	主要性状	
	流動点 (°C)	-5.0
	引火点 (°C)	19.5
	密度 (g/cm <sup>3</sup> 15°C)	0.857
	低位発熱量 (kcal/kg)	10840
	元素組成 (wt %)	
	C	86.6
	H	11.1
N	0.21	
S	0.05	
O	0.86	
Cl	0.021	

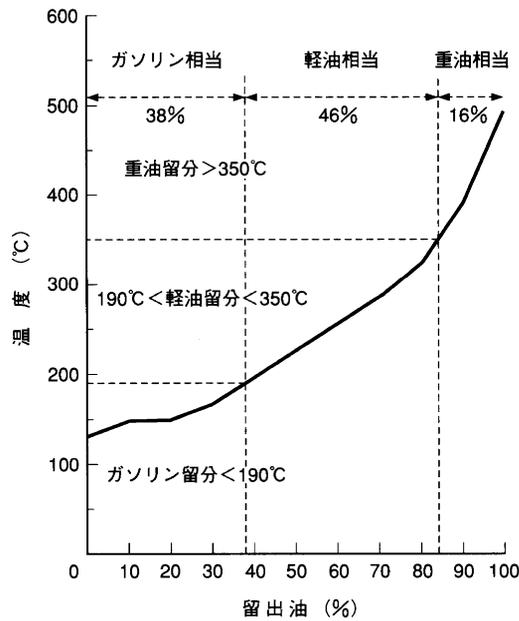


図4 回収油の蒸留性状 回収油の各留分は、ガソリン38%、軽油分46%、重油分16%である。  
GC distillation curve of recovered oil

図4に回収油の蒸留性状の一例を示す。蒸留性状はガソリン留分が38 vol%，軽油留分が46 vol%，重油留分が16 vol%であった。

本回収油はボイラや加熱炉等の燃料として十分使用可能な性状を有しているが、引火点が低く第一石油類（引火点21°C未満）の扱いとなるため、専用の貯蔵設備等が必要である。これを避けるために軽質分を分留して引火点を上げる方法もあるが、回収率が低下する問題があると同時に設備の増加による処理費の増大にもつながるため、費用の掛からない方法を選択すべきである。また、軽質分に関しては、課税の問題も生じるため、その点に関する税法上の特別措置の考慮が望まれる。

### (3) 運転性

延べ94日間の連続運転を通し、熱分解槽等装置内におけるコーキングトラブルは全く見られず、砂を熱媒体とすることによるコーキング防止効果が実証された。また、攪拌翼、コンベア等の砂による摩耗速度は小さく、実用上問題のないレベルである。

## 4. 油化技術の課題と展望

実機化への課題として、プロセスに関しては、熱分解装置におけるスケールアップ手法や構造及び油回収系の安定運転

について検討の余地が残されている。

また、経済的な観点からは、現在、容器包装リサイクル法における“その他プラスチック（PETを除く）”の再商品化事業の方式としては、マテリアルリサイクルと油化のみならず、高炉処理やガス化などの方式が認可されている。今後、油化が普及していくためには、これらに対抗し得る低コスト化が、実機化の前提条件となる。当社油化プロセスは、簡素な前処理、残渣の熱源利用、コーキングトラブルが少ないなどの利点があり、低コスト化の可能性が十分あるものと考えている。

## 5. むすび

自治体にて分別収集された廃プラスチック主体のごみを用いて、5 t/d実証プラント試験により、連続安定運転性及び油回収率向上のための改良を行い、実機設計データ、運転上のノウハウの蓄積がなされた。これにより、更なる検討を要する課題も残されているが、砂を用いたプロセスの基本技術の実証を行うことができたところである。

油化事業の普及のためには、生成油が社会に受入れられることも一つのポイントであると考えられる。当面はボイラ燃料など重油代替物としての用途に限定されるが、将来原油代替として石油精製プロセスに還元するようなりサイクルルートが確立されれば、普及の可能性があると考えている。

なお、本開発は、平成8年度～11年度にわたり、通商産業省工業技術院の“石油代替エネルギー関係技術実用化開発費補助金”の交付を受けて実施したものである。

最後に実証試験実施に当っては、牛久市に多大なるご支援を頂いた。ここに記し謝意を表します。

## 参考文献

- (1) 堀添ほか、都市ごみ廃プラスチック油化プロセスの開発、三菱重工技報 Vol.34 No.1 (1997) p.787～794
- (2) 北村ほか、廃プラスチック熱分解油化プロセスの開発、三菱重工技報 Vol.35 No.6 (1998) p.414～417
- (3) (社)プラスチック処理促進協会、廃プラスチックの熱分解油化技術のブラッシュアップ研究 (1995)
- (4) 待鳥ほか、一廃系廃プラスチックの油化技術の実用化に向けて、都市と廃棄物 Vol.27 No.2 (1997) p.34～46
- (5) 小川、プラスチック廃棄物リサイクル油化実証事業の結果について、財団だより、No.39 (1999)
- (6) Kajiyama, R., Waste Plastic Liquefaction Technology of Niigata Plastic-to-oil Conversion Center, ISFDR'99 Proceedings, Japan (1999)