【 論 文 】

廃プラスチックの油化における固体酸触媒による
塩素除去および配管閉塞物質の生成抑制

角 田 雄 亮*・佐 藤 貴 宗**・菅 野 元 行*・平 野 勝 巳*

【要 旨】 廃プラスチックの油化は、一般的に脱塩素工程および熱分解（油化）工程により構成されている。しかし、近年ポリエチレンテレフタレート（PET）の排出割合が上昇しており、脱塩素工程において PET の一部が熱分解し、ポリ塩化ビニルから脱離した塩化水素と反応して有機塩素化合物を生成するため、塩素が除去できないことが懸念される。また、油化工程において軽質油を凝縮させる際、配管閉塞物質が堆積することが問題となっている。そこで、触媒としてチタニアシリカ（ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ）を添加し、上記の有機塩素化合物から塩素を引き抜く効果、および配管閉塞物質の生成抑制効果について検討した。その結果、一定幅の細孔径を有し、高強度の酸点および酸量を多く有する $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加することで有機塩素化合物から塩素を除去できることが判明した。さらに、油化工程においては配管閉塞物質の生成を抑制させる効果があることが判明した。

キーワード：廃プラスチック、油化、脱塩素処理、昇華性物質

1. 緒 言

廃棄物処理は生活環境を支える基本的な社会基盤であり、安定した廃棄物処理の維持は必須である。しかし、廃棄物処理における埋立場の逼迫が危惧されており、廃棄物を有効利用する循環型社会の構築が求められている。特に、一般廃棄物の約 4 割の容積比を占める廃プラスチックの有効利用は容器包装リサイクル法により義務づけられている¹⁾。

廃プラスチックは、組成のうち炭化水素で構成されるポリエチレン（以下、PE）、ポリプロピレン（以下、PP）、ポリスチレン（以下、PS）（総称 3P 以下、3P）が約 7 割を占めている²⁾。これら高分子炭化水素は約 400～500℃で熱分解（油化）させることで容易に低分子化し、軽質油が得られる。得られた軽質油は液体燃料や化学原料として利用可能であるため、枯渇が危惧される石油の

消費抑制に有効であり、上記法令においても有効利用方法として認定されている。ただし、3P 熱分解時にポリ塩化ビニル（以下、PVC）が混在すると熱分解により生成する塩化水素（以下、HCl）と 3P の熱分解物が反応して有機塩素化合物を生成し、軽質油中に残存するため製品として不適となる。そこで、脱塩素工程を設け、約 300℃にて PVC の熱分解のみ生じさせ HCl を除去した後、3P を約 400～500℃で熱分解させる方法が一般的となっている³⁾。しかし、近年ポリエチレンテレフタレート（以下、PET）の排出割合が上昇しており、脱塩素工程において PET の一部が熱分解し、HCl と反応して有機塩素化合物を生成するため、塩素分が除去できないことが懸念される。さらに、油化工程において軽質油を凝縮させる際、配管閉塞物質が堆積することも問題となっている。配管閉塞物質として PET の熱分解物であるテレフタル酸（以下、TPA）などが指摘されているが、詳細については未解明である。また、水酸化カルシウムを系内に添加し、TPA カルシウムとすることで堆積を抑制しているが、生成された TPA カルシウムはプラスチック熱分解残渣などとの分別が困難であり、そのまま残渣として廃棄されている。また、固体触媒を添加して TPA の脱炭酸反応を促進させ、配管の閉塞を抑制するとともにベンゼンを回収する方法等が報告されて

原稿受付 2012. 1. 25 原稿受理 2012. 7. 17
J-STAGE 早期公開論文 (2012. 10. 11 早期公開)

* 日本大学理工学部物質応用化学科

** 日本大学大学院理工学研究科 物質応用化学専攻

連絡先：〒101-8308 東京都千代田区神田駿河台 1-8-14

日本大学理工学部物質応用化学科 角田 雄亮

E-mail: kakuta.yusuke@nihon-u.ac.jp

いるが⁴⁻⁶⁾、脱塩素工程を含めて検討している例はほとんどみられない。

そこで、脱塩素工程における有機塩素化合物の生成挙動および油化工程における配管閉塞物質の生成挙動について検討した。さらに、ルイス酸触媒を添加し、脱塩素工程においては上記の有機塩素化合物から塩素を引き抜く効果を、油化工程においては配管閉塞物質の生成抑制を期待し、塩素分の残存および配管の閉塞という問題に対して同一触媒で解決する方法について検討した。なお、ルイス酸触媒には比較的安価なチタニアシリカ（以下、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ ）を選定した。

2. 実 験

2.1 触媒調製

チタンテトライソプロポキシド（以下、TTIP）とイソプロピルアルコール（以下、IPA）の等モル混合溶液に、担体として平均細孔径の異なるシリカゲル粉末（以下、 SiO_2 ）を添加し、常温で18 hそれぞれ浸漬させた。その後、30℃で2 h 湿潤空気を送りながらTTIPを加水分解させた。次に、150℃で4 h 乾燥空気を送りながら乾燥させ、水分およびIPAを除去した。さらに、450℃で4 h 焼成し、100 mesh から200 mesh に整粒して $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (T/S-1~4)を得た。調製した触媒は窒素吸着法により、比表面積、細孔容積、平均細孔径を測定した。またHammett 指示薬を用いたアミン滴定により、触媒の各酸強度（ $+6.8 > \text{H}_0 > +3.3$, $+3.3 > \text{H}_0 > +1.5$, $+1.5 > \text{H}_0$ ）における酸量を測定した⁷⁾。調製した各触媒（T/S-1~4）の物性をTable 1に、各酸強度における酸量を

Table 1 Physical characteristics of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

	Pore size	Pore volume	Surface area
	[nm]	[mL/g]	[m ² /g]
T/S-1	67.3	0.5	54
T/S-2	33.9	1.1	91
T/S-3	20.7	0.9	113
T/S-4	6.1	1.1	277

Fig. 1 Acidity of each acid strength on $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Fig.1 に示す。

2.2 脱塩素工程

PET 混合時の塩素挙動を明確にするため、試料には市販のPVCおよびPETを用いた。添加量は廃プラスチックの排出割合に準拠し²⁾、それぞれ2.0 g, 10.0 gとした。触媒には $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (T/S-1~4)を用い、添加量は3.6 gまたは7.2 gとした。また、油化工程と連続処理する場合は、上記試料に加えPEを31.0 g, PPを13.1 g, PSを13.6 g添加し、触媒添加量は7.2 gとした。これら内容積300 mL電磁誘導攪拌式オートクレーブに装入し、200 rpmで水平攪拌を行いながら、外部電気炉で内容物を300℃に加熱し（昇温時間約30 min）、60 min 温度を保持して反応させた。なお、反応中は窒素を流通させ（30 mL/min）、生成したガスも含めて随時吸収液（0.05 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液）に通じて生成するHClを吸収させた。

反応終了後、直ちに室温まで空冷し、吸収液に対して硝酸銀滴定法による含有塩素（HCl分）の定量分析を行った。スラリーに対して高温燃焼-イオンクロマトグラフ法による含有塩素（残存塩素分）の定量分析、およびフーリエ変換赤外分光光度計（FT-IR）による官能基分析を行った。また、190℃にてベンジルアルコールに溶解させ、急冷させた後クロロホルムと混合させた。この溶液に対して0.1 mol/L 水酸化ナトリウムを用いて中和滴定を行い、カルボキシル基を定量した⁸⁾。さらに、末端定量法により生成物の数平均分子量を算出した。

2.3 油化工程

廃プラスチックの排出割合に準拠し、PEを20.8 g, PPを8.8 g, PSを9.1 g, PETを6.7 g秤量し、常温にて90 min 減圧乾燥した後、反応に用いた。触媒には $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (T/S-2)を用い、添加量は4.8 gとした。また、脱塩素工程と連続処理する場合は脱塩素後スラリーを53.5 g用いた。これら内容積300 mLのオートクレーブに封入し、窒素ガスを0.8 MPa充填した。その後、200 rpmで水平攪拌を行いながら外部電気炉により420~460℃まで加熱し（昇温時間約50 min）、0~60 min 温度を保持して反応させた。

反応終了後、直ちに室温まで空冷し、スラリーとガスを回収した。ガスに対してガスクロマトグラフ-熱伝導度検出器（GC-TCD）による定量分析を行った。スラリーに対して単蒸留を行い、初留点~沸点180℃までの留分（ガソリン留分）を分取した。釜残分に対してヘキサンを溶媒として超音波抽出、遠心分離、ろ過、溶媒除去の順に行い、ヘキサン可溶分とヘキサン不溶分に分別

した。ヘキサン可溶分に対して単蒸留を行い、沸点180～350℃の留分（軽油留分）を分取し、釜残分は沸点350℃以上の留分（重油留分）とした。軽油留分に対して示差走査熱量計（DSC）による凝固開始温度の測定を行った。さらに、軽油留分中に析出物が目視により確認された場合は遠心分離により析出物（固相）と油分（液相）に分別し、それぞれFT-IRによる官能基分析を行った。また、ヘキサン不溶分に対して水酸化ナトリウム水溶液を添加し、TPAを溶解させ固液分離を行った。固相は残渣とし、ろ液には酸性になるまで塩酸を添加してTPAを析出させ、回収した後秤量した。残渣および各軽質油留分に対して元素分析を行い、仕込みPET中の酸素量を基準として生成物中の酸素分布を求めた。なお、原料中の酸素量に満たない分は揮発成分と仮定した。

3. 結果および考察

3.1 脱塩素工程

3.1.1 有機塩素化合物の生成挙動

PVCおよびPETの混合反応における塩素の分配をFig.2に、FT-IRスペクトルをFig.3に、カルボキシル基量と数平均分子量をTable2に示す。なお、比較のためFig.2にはPVC単独反応における塩素の分配を、Table2には反応前のPETおよびPET単独反応の結果を併記した。

Fig.2より、PVCを単独で反応させると残存塩素はほとんど生成せず、HClとして脱離することがわかる。PVCにPETを添加するとHCl割合が低下し、残存塩素割合が上昇した。Fig.3より、PETに起因するカルボキシル基、エステル、芳香族のピークが多数確認されたほか、 $3,100\text{ cm}^{-1}$ 付近にビニル基と $1,690\text{ cm}^{-1}$ 付近に芳香族カルボキシル基のピークが確認された。PETは熱分解するとエステル結合の解裂によりカルボキシル基とビニル基を有する分解物を生成することが知られており⁹⁾、これらはPETの熱分解物由来であると考えら

Fig. 2 Chlorine distribution on dechlorination

Fig. 3 FT-IR spectrum about 3P+PET on dechlorination

Table 2 Degradation behaviour of PET

	Carboxyl (-COOH)	Mn
	[mmol/g]	[g/mol]
PET (Raw)	0.04	26400
PET	0.35	2820
PVC+PET	0.32	3126

れる。また、Table2よりPETを単独で反応させるとカルボキシル基量が増加し、数平均分子量は3,000 g/mol程度に低下することがわかる。これにPVCを共存させてもカルボキシル基量はほとんど変化しなかった。これらのことから、PVCから脱離したHClはPETの熱分解物が有するカルボキシル基には影響を及ぼさず、ビニル基の一部を塩素化して有機塩素化合物を生成すると推察される。

3.1.2 触媒効果

PVCおよびPETにT/S-1～4を添加した反応における塩素の分配と $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ の平均細孔径の関係をFig.4に示す。なお、触媒無添加の結果を併記した。

Table1より、T/S-1の平均細孔径が最も大きく、T/S-2～4の順に小さくなることがわかる。また、平均

Fig. 4 Effect of pore size of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ on dechlorination

細孔径の減少に伴い比表面積の増加が確認された。Fig. 1 より、T/S-1~4 の順に各酸強度における酸量が増加していることがわかる。一方、Fig. 4 より T/S-3, 4 における塩素の分配はほとんど変化せず、T/S-1, 2 において残存塩素割合の低下および HCl 割合の上昇が確認された。これらのことから、高強度の酸量を増加させても平均細孔径が小さいと有機塩素化合物は細孔内に拡散することができず、脱塩化水素反応は生起しにくいと考えられる。一方、平均細孔径が一定幅（本実験条件下では約 30 nm）以上であれば細孔内に存在する酸点と接触し、有機塩素化合物からの脱塩化水素反応が生起すると考えられる。さらに細孔径を拡大することで分子量の大きい有機塩素化合物も細孔内に進入できると考えられるが、本触媒調製条件においては高強度の酸点および酸量が低下するため、十分な塩素除去効果は期待できないと考えられる。そこで、残存塩素割合をさらに低減させるため、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (T/S-2) の添加量を変更した実験を行った。その際の塩素の分配を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ の添加量を増加させると PVC 単独反応の場合とほぼ同等まで残存塩素割合が低下し、その分 HCl 割合が上昇することがわかる。このことから、これ以上平均細孔径を大きくする必要はなく、添加割合を変更して総酸量を増加させることで触媒効果が得られることが確認された。

以上のことから、一定幅の細孔径を有し、さらに高強度の酸点および酸量を多く有する $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を用いることで PET の混入により生成する有機塩素化合物から

Fig. 5 Additive effect of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ on dechlorination

塩素を除去できることが判明した。

3.2 油化工程

3.2.1 配管閉塞物質の生成挙動

3 P および PET の共熱分解における酸素の分布の経時変化を Table 3 に、TPA および軽油留分中の析出物の収率を Fig. 6 に、軽油留分中の析出物および油分の FT-IR スペクトルを Fig. 7 に、反応温度の変更による生成物収率の変化を Fig. 8 に、DSC による軽油留分の凝固開始温度の測定結果を Table 4 に示す。

Table 4 より、保持時間 0 min において TPA の生成が確認され、保持時間の延長に伴い低下することがわか

* Reaction temperature : 420 [°C]

Fig. 6 Yield of TPA and diesel oil fraction (solid)

* Reaction temperature : 420 [°C], Retention time : 60 [min]

Fig. 7 FT-IR spectra of diesel oil fraction (solid and liquid)

Table 3 Oxygen distribution on liquefaction without $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Reaction temperature [°C]	Retention time [min]	Residue	TPA	Heavy oil fraction	Diesel oil fraction	Gasoline fraction	Volatile matter*	Gas (CO and CO ₂)
[wt% - feed oxygen in PET basis]								
420	0	5.7	23.0	19.9	12.9	2.5	0.6	35.6
	30	8.8	14.2	19.4	17.9	2.6	0.9	36.2
	60	1.9	14.1	13.0	18.2	4.8	7.4	40.6

* by difference

* Retention time : 60 [min]

Fig. 8 Effect of reaction temperature on liquefaction without $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Table 4 Analysis of coagulation temperature of diesel oil fraction

Catalyst	Reaction temperature [°C]	Coagulation temperature [°C]
—	420	76.1
—	440	43.0
—	460	27.0
T/S-2	460	N. D. (<0°C)

る。ただし、TPA の分解に伴い生成することが知られている CO や CO_2 の上昇はわずかであり⁴⁾、軽油留分中の酸素の割合が上昇した。Fig. 6 より、保持時間の延長に伴い TPA の割合が低下し、軽油留分中の析出物の割合が上昇することがわかる。Fig. 7 より、軽油留分中の油分には $2,960\text{ cm}^{-1}$ 、 $2,925\text{ cm}^{-1}$ 、 $2,850\text{ cm}^{-1}$ 等の炭化水素に由来するピークが強く発現し、析出物には $1,720\text{ cm}^{-1}$ 、 $1,280\text{ cm}^{-1}$ 付近に芳香族カルボン酸エステル、 $3,055\text{ cm}^{-1}$ 、 $1,450\text{ cm}^{-1}$ 、 700 cm^{-1} 付近に芳香族に由来するピークが強く発現することがわかる。これらのことから、配管閉塞物質として TPA 以外にエステルを有する析出物が生成することが判明した。析出物の生成は TPA 量の減少に伴い増加することから、PET が分解して生成する TPA 等のカルボキシル基が再度反応してエステルを形成した可能性がある。また、Fig. 8 より反応温度の上昇に伴い重油留分の収率が低下し、ガソリン留分およびガスの収率が上昇することがわかる。一方、反応温度の上昇に伴い TPA および軽油留分中の析出物の

収率は低下するが、反応温度 460°C においてもこれらは残存した。さらに、Table 4 より反応温度の上昇に伴い凝固開始温度は低下するが、反応温度 460°C においても凝固が確認された。これらのことから、反応温度の上昇により軽質油の分解は促進されるが、配管閉塞物質に含まれるエステルの分解は困難と考えられる。

3.2.2 触媒効果

$\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ (T/S-2) を添加した反応における TPA および軽油留分中の析出物の割合の経時変化を Fig. 9 に、酸素の分布の経時変化を Table 5 に、DSC による軽油留分の凝固開始温度の測定結果を Table 4 に示す。なお、Table 4 に触媒無添加の結果を、Fig. 9 に触媒無添加の結果および脱塩素後スラリーを用いた結果(脱塩素～油化工程連続処理)を併記した。

Fig. 9 より、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加すると保持時間 0 min において TPA および析出物が低下することがわかる。さらに保持時間を延長させると 30 min 以降でこれらは著しく低下した。また、脱塩素後スラリーを油化した場合も同様に TPA および析出物の生成が抑制された。Table 5 より、保持時間の延長に伴い重油、軽油およびガソリン留分中の酸素の割合が低下し、ガスおよび揮発成分中の酸素の割合が上昇することがわかる。ただし、析出物が生成しなかった保持時間 30 min 以降においてもガスおよび揮発成分中の酸素の割合が上昇した。Table 4 より、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加すると凝固開始温度は測定下限温度 (0°C) 以下であることがわかる。これら

* Reaction temperature : 460°C

Fig. 9 Additive effect of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ on liquefaction

Table 5 Oxygen distribution on liquefaction with $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$

Reaction temperature [°C]	Retention time [min]	Residue	TPA	Heavy oil fraction	Diesel oil fraction	Gasoline fraction	Volatile matter*	Gas (CO and CO ₂)
[wt%-feed oxygen in PET basis]								
460	0	0.0	3.4	13.6	24.3	10.5	9.3	39.0
	30	5.6	3.8	5.9	12.2	3.6	21.2	47.8
	60	0.0	2.4	0.0	0.0	5.8	36.1	55.7

* by difference

のことから、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ は PP など水素を豊富に有するプラスチックからヒドリドイオンを引き抜き、これがカルボキシル基の脱炭酸を促進させるため、配管閉塞物質の生成が抑制されたと推察される。また、一部はエステルとして残存するが、ヒドリドがこれを還元的に分解させた後過分解し、揮発分を生成したと推察される。反応機構および触媒の耐久性を含めた本プロセスの実用性については今後検討が必要であるが、 $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加することで配管閉塞物質の生成を抑制し、含酸素割合の低い軽質油が製造できることが判明した。

4. 結 言

ルイス酸触媒である $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加し、脱塩素工程においては上記有機塩素化合物から塩素を引き抜く効果を、油化工程においては配管閉塞物質の生成抑制を期待し、塩素分の残存および配管の閉塞という問題に対して同一触媒で解決する方法について検討した結果、以下のことが明らかとなった。

- ・脱塩素工程において、PVC から脱離した HCl は PET の熱分解物が有するビニル基を塩素化して有機塩素化合物を生成する。
- ・ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ 上の高強度の酸量を増加させても平均細孔径が小さいと有機塩素化合物は細孔内に拡散することができず、脱塩化水素反応は生起しにくい。一定幅の細孔径を有し、さらに高強度の酸点および酸量を多く有する $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を用いることで、PET の混入により生成する有機塩素化合物から塩素を除去できる。
- ・油化工程において配管閉塞物質として TPA 以外にエステルを有する析出物が生成される。反応温度の上昇により軽質油の分解は促進されるが、配管閉塞物質の分解は困難である。
- ・ $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ を添加することで TPA およびエステルを有する析出物の生成を抑制し、含酸素割合の低い製品が製造できる。

[謝 辞]

本研究における触媒担体は富士シリシア化学 (株) よりご提供いただいた。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 畑 隆雄：容器包装リサイクル法改正と使用済み容器包装プラスチックのリサイクル状況，日本エネルギー学会誌，第 86 巻，第 11 号，pp.854-860 (2007)
- 2) 橘 秀昭，塩谷 操，若井慶治，福島正明：使用済みプラスチックの油化技術の進展と今後の展望，日本エネルギー学会誌，第 86 巻，第 11 号，pp.877-887 (2007)
- 3) 安部裕宣，伊部英紀，早田輝信，河内恭三：廃プラスチック油化システムの運転開始状況，プラスチック化学リサイクル研究会第 3 回討論会予稿集，pp.3-4 (2000)
- 4) T. Masuda, Y. Miwa, K. Hashimoto and Y. Ikeda: Recovery of Oil from Waste Poly (ethylene terephthalate) without Producing Any Sublimate Materials, Polymer Degradation and Stability, Vol.61, No.2, pp. 217-224 (1998)
- 5) S. Kumagai, G. Grause, T. Kameda, T. Takano, H. Horiuchi and T. Yoshioka: Decomposition of Gaseous Terephthalic Acid in the Presence of CaO, Industrial & Engineering Chemistry Research, Vol.50, No.4, pp. 1831-1836 (2011)
- 6) E. Obuchi, M. Suyama and K. Nakano: Decomposition of Mixed Plastics Consisting of Polypropylene and Polyethylene Terephthalate into Oils over Titania/Silica Catalysts, Journal of Material Cycles and Waste Management, Vol.3, No.2, pp.88-92 (2001)
- 7) H. A. Benesi: Acidity of Catalyst Surfaces, II. Amine Titration Using Hammett Indicators, Journal of Physical Chemistry, Vol.61, pp.970-973 (1957)
- 8) H. A. Pohl: Determination of Carboxyl End Groups in a Polyester, Polyethylene Terephthalate, Analytical Chemistry, Vol.26, No.10, pp.1614-1616 (1954)
- 9) R.E. Adams: Pyrolysis Mass Spectrometry of Terephthalate Polyesters Using Negative Ionization, Journal of Polymer Science, Polymer Chemistry Edition, Vol.20, No.1, pp.119-129 (1982)

Catalytic Effects of Dechlorination and Suppression of Blockage Formation during Waste Plastic Liquefaction

Yusuke Kakuta*, Takahiro Sato**, Motoyuki Sugano* and Katsumi Hirano*

* Department of Materials and Applied Chemistry, College of Science and Technology, Nihon University

** Department of Materials and Applied Chemistry Graduate School of Science and Technology, Nihon University

† Correspondence should be addressed to Yusuke Kakuta :
Department of Materials and Applied Chemistry, College of Science and Technology, Nihon University
(1-8-14 Kanda-Surugadai, Chiyoda-ku, Tokyo 101-8308 Japan)

Abstract

Waste plastic liquefaction is combined with dechlorination and degradation processes. However, polyethylene terephthalate (PET) degradation compounds react with hydrogen chloride to create chloro-organic compounds during dechlorination because both polyvinyl chloride and PET are recently included in waste plastics. Furthermore, blockage occurs during condensation of liquefaction oil. The catalytic effect of extracting chlorine from chloro-organic compounds and control of the generation of the blockage were examined in this study. Results show that $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$, which has constant pore size and high acid strength, when added during dechlorination, removes chlorine from chloro-organic compounds. Moreover, the catalytic effect of $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$ suppresses blockage production.

Keywords : waste plastics, liquefaction, dechlorination, sublimate substance