

## 第3章 国内のケミカルリサイクルの技術・市場動向

### 3 - 1 . ケミカルリサイクル技術の分類

廃プラスチックを再資源化するケミカルリサイクルの手法には、大きく分けて以下の5つの技術がある。

手法	特徴
1 . 高炉原料化技術	高炉でコークスの代わりに還元剤として利用される。コークスと違って、プラスチックの主要成分は炭素と水素なので、銑鉄生産時の二酸化炭素排出量が少ない。
2 . コークス炉化学原料化技術	廃プラスチックを圧力下で高温(600度から1,300度)で熱分解し、高炉の還元剤となるコークス、化学原料となる炭化水素油、発電などに利用されるコークス炉ガスを得る。
3 . ガス化技術	酸素の量を制限して加熱する事により、プラスチックの大部分が炭化水素、一酸化炭素、そして水素になり、メタノール、アンモニア、酢酸など化学工業の原料に利用される。
4 . 油化技術	約400度下で改質触媒を用いて、プラスチックを完全に熱分解し、炭化水素油を得る。一般廃プラの処理には、如何に塩素分を除去するかが重要になる。
5 . 原料・モノマー化技術	廃プラスチック製品を化学的に分解し、原料やモノマーに戻し、再度、プラスチック製品に活用する。

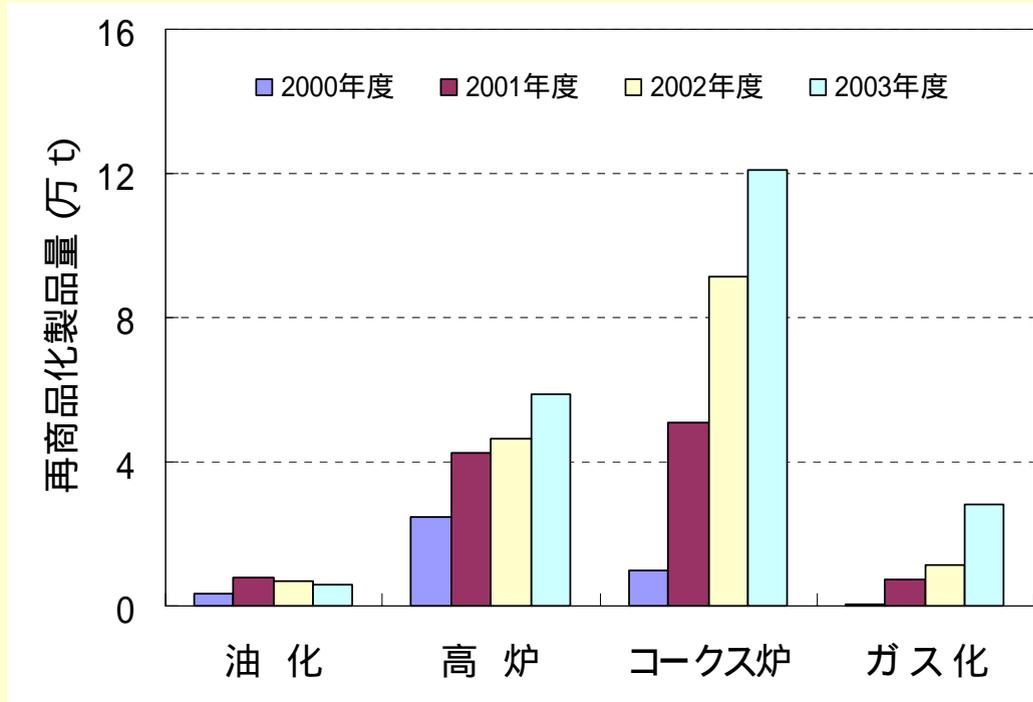
### 3 - 2 . ケミカルリサイクル技術による国内の開発動向概要

手法	開発動向
1 . 高炉原料化技術	JFE スチールと神戸製鋼所の高炉で、鉄鋼石の還元用コークスの代替として使用されている。塩化ビニルを含む廃プラスチックは塩化水素の発生により炉を傷めることから、無酸素の状態 で約 350 の高温にして塩化水素を分離する技術が開発されている。 この脱塩化水素法は、NEDOの委託を受け、JFE スチール等が開発した。
2 . コークス炉化学原料化技術	新日本製鐵では、廃プラスチックをコークス、化学原料及び燃料として利用するための設備を 完成し、名古屋、君津、室蘭、八幡の各製鉄所で稼働している。
3 . ガス化技術	プラスチック処理促進協会はNEDOから委託を受け、荏原製作所、宇部興産と協力のもと実 証試験を行った結果を受け、2001年1月から(株)EUPにより プラスチックガス化プラントが本 格稼働している。さらに、この技術を用いて、2003年7月に昭和電工(株)川崎事業所でも新た な設備が稼働を開始した。
4 . 油化技術	新潟プラスチック油化センターが、1999年5月から多種類の廃プラスチックから油を回収する プロセスの商業運転を開始している。同様の大型設備では、札幌プラスチックリサイクルが、 2000年4月から商業運転を開始したが、道央油化センターは、2004年3月に商業運転を停止 した。また、地域分散型の取組として、各地に小規模な油化プラントが建設されている。 現状、生成物は燃料として使われる事が多く、サーマルリサイクルの色彩も強いが、ジャパ ンエナジーは、廃プラスチック油をナフサに再利用する実証化運転を2004年4月に開始した。
5 . 原料・モノマー化技術	代表的な例として、廃 PET ボトルから飲料用 PET ボトルへのボトル to ボトル事業が始まって いる。帝人ファイバーは、EG(エチレングリコール)とメタノール併用による独自分解技術で、 2003年11月から年間約5万トンの新規PET樹脂製造を開始した。一方、ペトリバースはEG による分解法に新規技術を用いて、2004年3月から年間約2万3,000トンの新規PET樹脂製 造を開始した。 また、ポリスチレンについても、東芝プラントシステムによる発泡スチロールをスチレンに戻す 原料化の実証化検討が終了し、実用化段階にある。 その他、PMMA、ナイロン樹脂については、工場内で発生する端材の処理が実施されている。 ポリウレタン、ポリカーボネート樹脂等についても、原料化の検討が進められている。

国内の主要ケミカルリサイクル技術開発一覧表

手法	実施機関	技術	開発ステージ	処理能力	投資額	備考
高炉原料化	JFE スチール	コークス代替技術	商業化	17 万t/年		
	JFE スチール	廃塩ビ製品からの脱塩素技術	商業化	5 千t/年	25 億円	NEDO 委託事業
	神戸製鋼所	コークス代替技術	商業化	1 万t/年		
コークス炉化学原料化	新日本製鐵	高温下乾留技術	商業化	16 万t/年	120 億円	
ガス化	昭和電工	イーユーピー技術導入	商業化	6 万 4 千t/年	84 億円	37 億円助成金
	イーユーピー	加圧2段ガス化	商業化	3 万t/年		NEDO 委託事業
	新日本製鐵 / ダイセル化学	塩ビ含有製品の熱分解技術	実証プラント	5t/日		NEDO 委託事業
	ジャパンリサイクル	サーモセレクト方式ガス化溶融炉	商業化	300t/日		
油化	歴世礦油	2段階熱分解技術	商業化	6 千t/年		旧通産省の補助
	道央油化センター	2段階熱分解技術	撤退			
	札幌プラスチックリサイクル	2段階熱分解技術	商業化	1 万 5 千t/年	52 億円	26 億円助成金
	ジャパンエナジー	廃プラ油からナフサや灯油を再生	実証化検討			
原料・モノマー化	帝人ファイバー (PET)	加グリコール / メタノール分解	商業化	6 万 2 千t/年		
	ペトリバース (PET)	加グリコール分解	商業化	2 万 8 千t/年	80 億円	40 億円助成金
	三星化学 (PET)	加アルカリ分解法	実証化研究			中小企業事業団の助成
	三菱重工業 (PET)	超臨界メタノール法	パイロットレベル			
	東芝プラントシステム (PS)	熱分解制御技術	実証化検討終了	1 千t/年		NEDO 委託事業
	三菱レイヨン (PMMA)	熱分解制御技術	自社消費	2 千t/年		
	日本製鋼所等 (PMMA)	押出機剪断発熱による技術	技術開発			
	東レ、帝人等 (ナイロン)	カプロラクタム回収技術	自社消費等			
	日本ビクター等 (PC)	液相分解法技術の適用	技術開発			NEDO 委託研究
	NIKKISO (PC)	超臨界流体技術の利用	技術開発			
	帝人化成 (PC)	低温での解重合技術開発	実証プラント	数百t/年	2 億円	経産省の補助
	石川島播磨重工等 (PO)	分解効率の良い触媒開発	実証プラント			NEDO 委託事業
	神戸製鋼所 (PU)	超臨界流体技術の利用	TDI の商業化			
	日立化成工業 (フェノール樹脂)	超臨界流体技術の利用	技術開発			NEDO 委託研究
	住友ベークライト (フェノール積層板)	液相分解法技術の適用	技術開発			

## ケミカルリサイクル各手法による製品化量の推移



出典：(財)日本容器包装リサイクル協会

- ・コスト競争力のあるコークス炉化学原料化及びガス化の手法による製品化量の伸びが著しい。コスト競争力の弱い油化は厳しい状況が続いている。
- ・2004年度からは、PETボトルのボトル to ボトルリサイクルが始まっているので、原料・モノマー化による製品化量が計上される予定である。

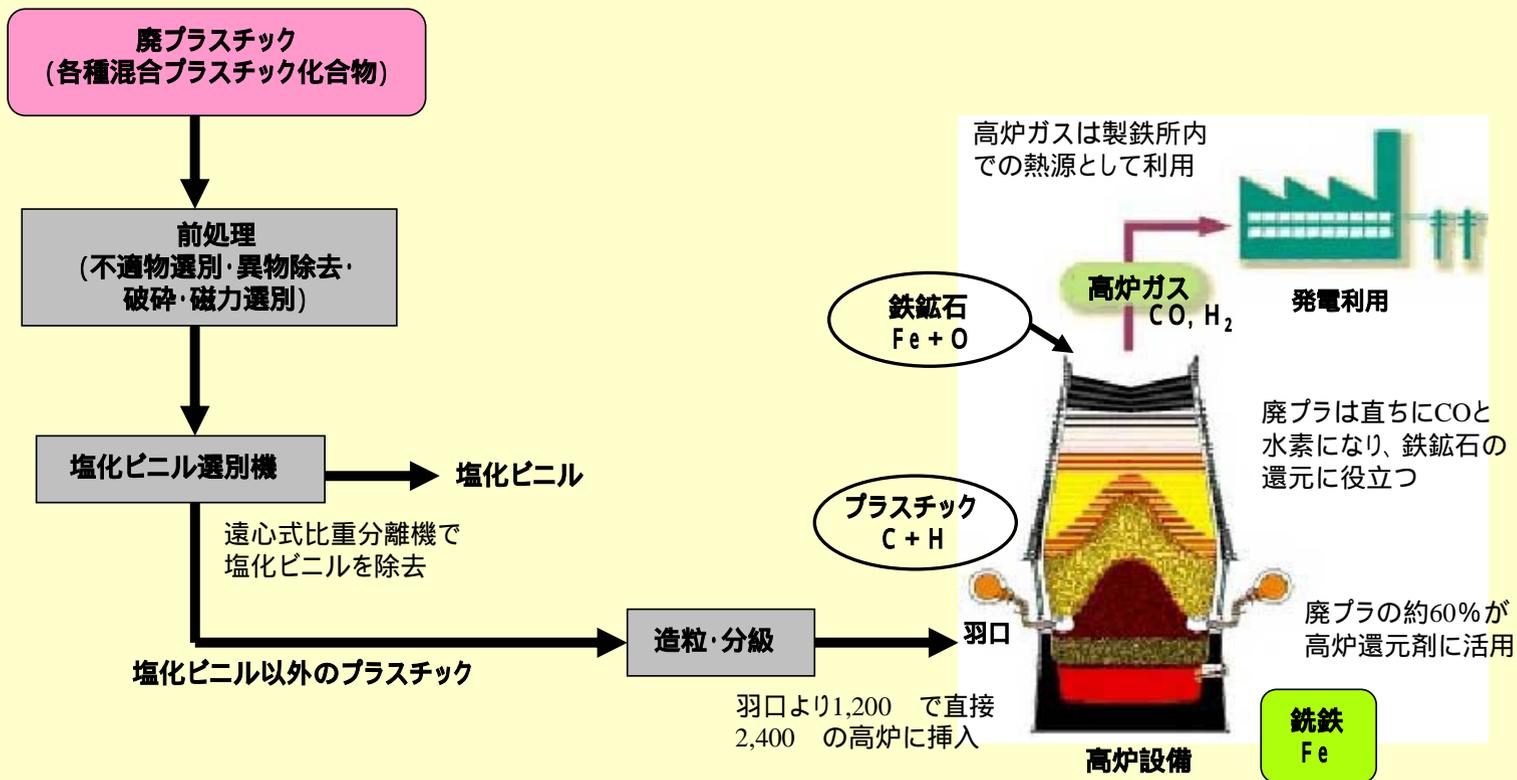
### 3 - 3 . ケミカルリサイクル技術の動向

#### 3 - 3 - 1 . 「高炉原料化技術」

##### 「高炉原料化技術」の概要

- 1 . 手 法 : 高炉での還元用コークスの一部を代替する
- 2 . 原 料 : 容器包装リサイクル法の廃プラスチック、産業系廃プラスチック
- 3 . 生成物 : 合成ガス(一酸化炭素 ; CO , 水素 ; H<sub>2</sub>)
- 4 . 技術ポイント :
  - (1) 不純物と塩ビの除去技術
  - (2) 粉碎・造粒品を羽口(1200 )より高炉(2400 )に直接吹き込む
- 5 . 実施企業と処理能力(@2003年)
  - ・JFEスチール:西日本製鉄所(福山:70千t/年)、東日本製鉄所(京浜:100千t/年)
  - ・神戸製鋼:加古川(10千t/年)
- 6 . 処理量実績(自治体分):88千t(2003年)、92千t(2004年)
- 7 . 課 題 :
  - (1) 廃プラスチック中の塩素濃度 0.5%
  - (2) 他金属(アルミ、銅)の混入防止
  - (3) コークス炉化学原料化に対してコストがやや高い
  - (4) 高炉が設置されている地域が限定され、遠隔地からの輸送コストが大
- 8 . その他 :
  - ・エネルギー利用効率が良い(80%、内訳:還元利用60%、熱利用20%)

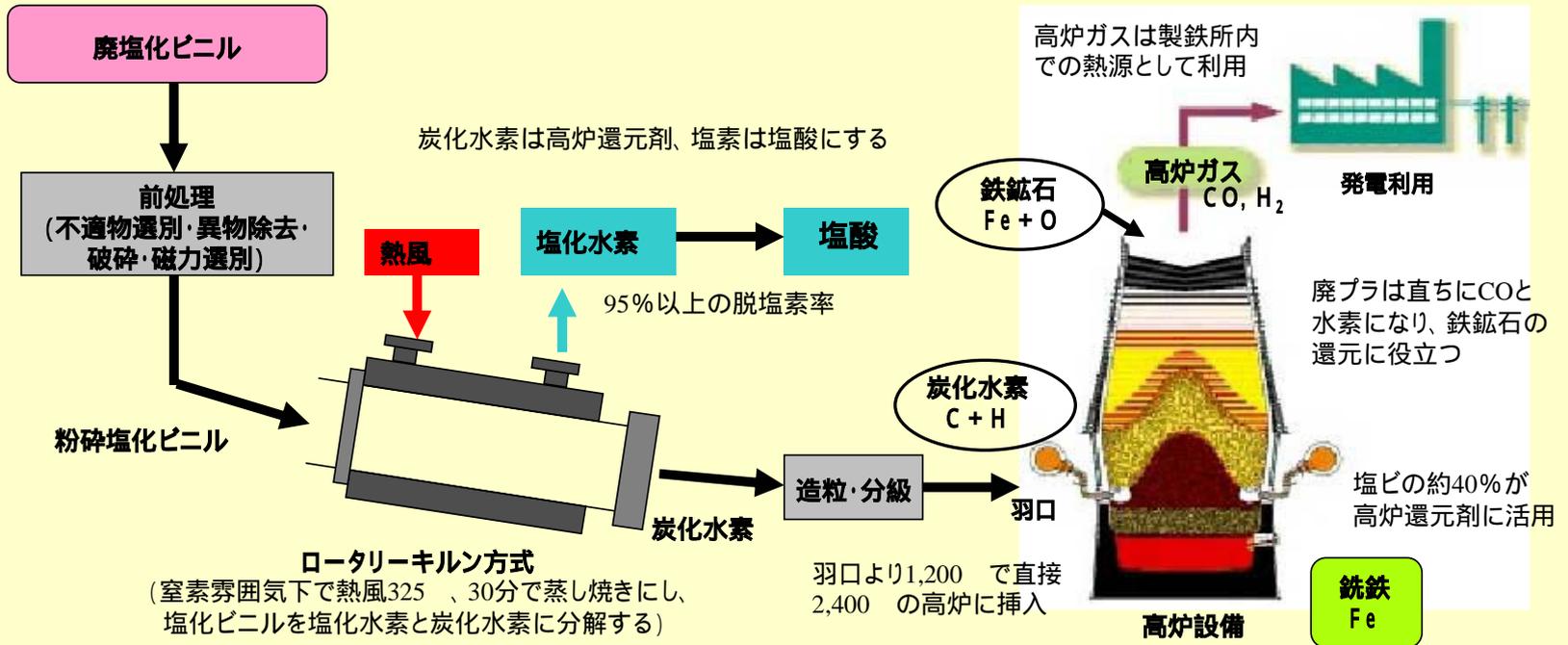
## 高炉原料化技術のフロー図



## 「高炉原料化技術(その2:廃塩ビ処理)」の概要

1. 目的: 高炉で廃塩ビを処理できるように炭化水素と塩素に分解する。
2. (社)プラスチック処理促進協会、塩ビ工業・環境協会、NKK(当時)の支援及びNEDO助成金による
3. 場所: JFEスチール(株)東日本製鉄所・京浜地区
4. 処理量: 第1次 1千t/年(1997~1998年実証実験)、第2次 5千t/年(2000年実用化研究) 総事業費: 2.5億円  
2004年5月からJFEスチール(株)で本格的な事業化開始(初年度3,000t処理計画予定)

### 高炉原料化技術(その2:廃塩ビ処理)のフロー図



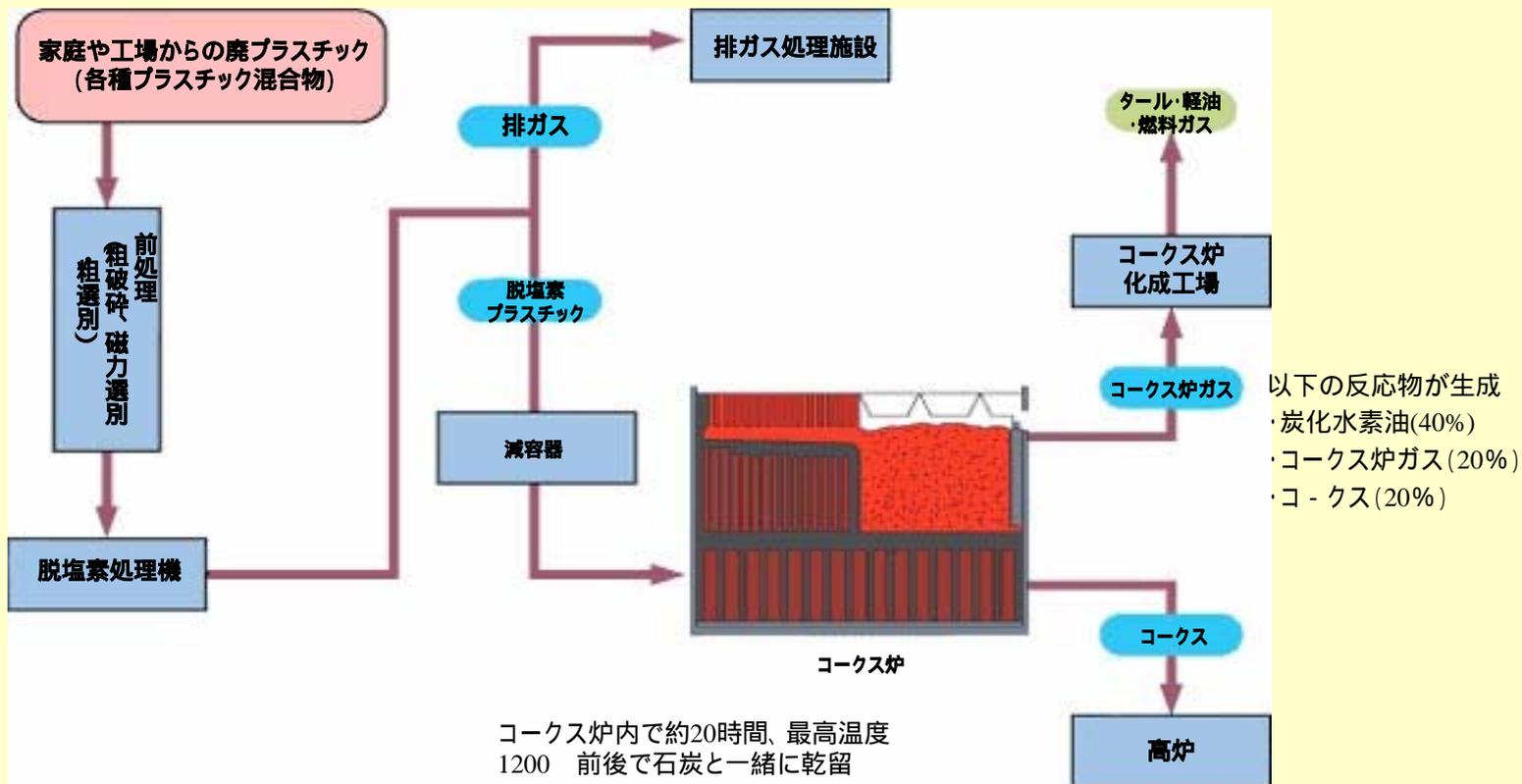
### 3 - 3 - 2 . 「コークス炉化学原料化技術」

#### コークス炉化学原料化の概要

- 1 . 手 法 : コークス製造の原料石炭の代わりに廃プラスチックを使用する
- 2 . 原 料 : 容器包装リサイクル法の廃プラスチック
- 3 . 生成物 : 炭化水素油(40%)           ピッチコークス、フェノール、スチレンモノマー  
          コ - クス(20%)               鉄鉱石還元剤  
          コークス炉ガス(20%)       製鉄所内の熱源
- 4 . 技術ポイント:
  - (1) 異物除去技術(ガラス、アルミ箔、塩ビ)、固形化技術
  - (2) 1200℃、無酸素での乾留技術
- 5 . 実施企業 : 新日鉄製鐵(君津、名古屋、室蘭、八幡の4工場)
- 6 . 処理能力 : 160千t / 年 (2003年)  
投資額 : 120億円  
処理量実績(自治体分) : 120千t (2003年)、160千t (2004年)  
2010年までに、新日鉄製鐵大分工場での新設並びに既設の能力増強(投資額:180億円)により、処理能力350千t / 年を達成する事が計画されている。
- 7 . 課 題 :
  - (1) コークスの生産比率低下(対石炭:70 - 20%)
  - (2) 廃プラ投入率 1~2%(コークス強度低下を懸念)
  - (3) 塩ビの除去要(腐食対策)、水分の除去要
- 8 . その他 :
  - (1) 高炉プロセスに比し塩素許容量が高いため、塩ビ混入量が数%まで対応が可能
  - (2) 高炉原料化に対してコストが安い特徴がある

## コークス炉化学原料化設備フロー図

エネルギー効率: 約90%



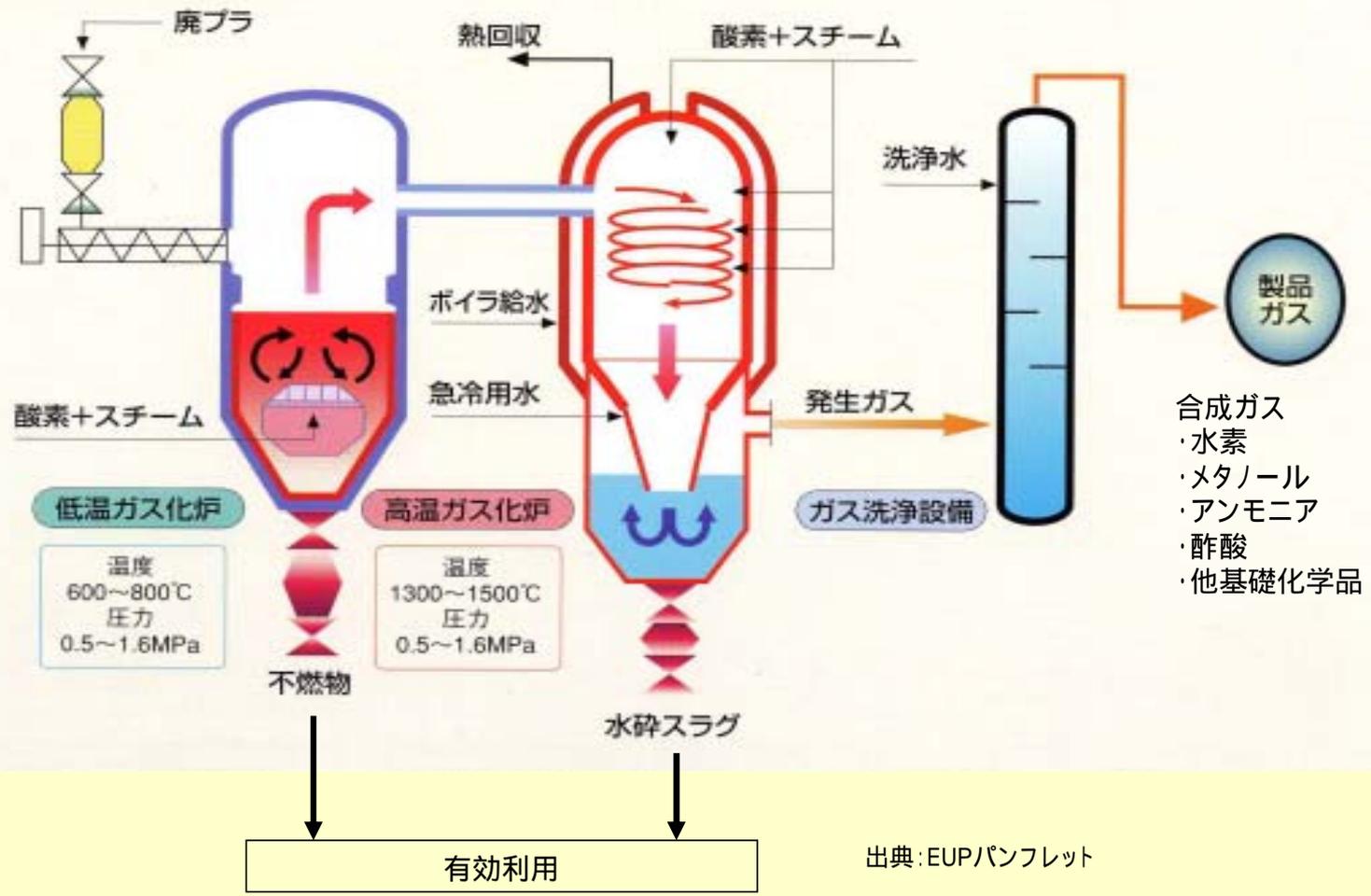
出典: (社)プラスチック処理促進協会

### 3 - 3 - 3 . 「ガス化技術」

#### ガス化技術(その1:宇部興産/荏原製作所)

1. 手 法: 廃プラスチックを2段の炉で合成ガスを製造する。
2. 原 料: 容器包装リサイクル法の廃プラスチック
3. 最終生成物: CO(30~35%) 酢酸、蔞酸、メタノール、DME、Cl化学  
水素(40~45%) アンモニア、燃料電池  
炭酸ガス(20~25%)
4. 技術ポイント: 加圧2段ガス化法(EUP法)、各種廃プラの分別不用
  - ・1段流動炉: 内部循環型流動床炉(流動媒体:珪砂)  
600~700、8~46Kg/cm<sup>2</sup> + 酸素、スチーム部分酸化  
炭化水素、CO, 水素発生  
底部より不燃物、混入金属の抜き出し
  - ・2段炉: 旋回熔融型反応炉(上部:反応室、下部:急冷室)  
1300~1500、8~46Kg/cm<sup>2</sup> + 酸素、スチーム部分酸化  
CO, 水素、炭酸ガス  
底部より急冷固化スラグの抜き出し、HClの除去(塩化アンモニウム)
  - ・発生ガスの洗浄と炭酸ガスの分離 CO, 水素
5. 実証設備の建設と実証運転: 1998~2001年、10千t/年  
(プラ処理協、宇部興産、荏原製作所;NEDO委託研究)  
事業化企業: イーユーピー社(宇部興産/荏原製作所の合弁会社)  
NEDO委託事業
6. 処理能力: 宇部: 30千t/年
7. 特 徴: 塩素系樹脂も処理可能、不燃物の事前除去が不用

# EUPの心臓部



## ガス化技術(その2:昭和電工)

1. 原料: 容器包装リサイクル法の廃プラスチック、近隣の産業系廃プラスチック

2. 技術:

- (1) 加圧2段式ガス化炉(EPU法:宇部興産/荏原製作所と同じ) 但し 洗浄工程の後に脱硫設備を追加
- (2) 投入廃プラスチックの組成は大きく変動するので、その変動を考慮したプロセス技術の開発

3. 特徴:

- (1) ガス化設備にて1300 以上の高温でガス化処理するため、回収プラに混入している塩化ビニルを分別する必要がない。プラスチックを種類ごと分別せずにすべてリサイクル出来る。
- (2) 廃プラスチックをガス化して出来る合成ガスから精製された水素ガスは、アンモニア合成の原料とする。このガス化では、アンモニア事業に使う原料の半分を賄う。
- (3) 塩ビ製品から分解されて出てくる塩素はアルカリで中和し、ソーダ電解原料として事業所内でリサイクルする。
- (4) ガス炉の底部に溜まるスラグは路盤材に、脱硫設備で合成ガスから取り出した硫黄は、硫黄誘導品として使用する。

4. 廃プラ処理能力: 64千t/年(2004/4本格稼働)

- ・隣接アンモニア設備の生産能力: 200千t/年(約9万tを外販)
- ・アンモニアのブランド名:「エコアン」
- ・1日当たり195tの回収プラから、175tの液化アンモニアをはじめとする化学製品を製造

5. 総投資額: 84億円(内37億円が国庫、川崎市の補助金)

立地は、昭和電工・川崎事業所内である。

将来的には、合成ガスをアンモニア製造原料としてだけでなく、燃料電池などの燃料(水素)としての転用も視野に入っている。

## ガス化技術(その3:JFEエンジニアリング)

- 1.原料: 容器包装リサイクル法の廃プラスチック、(自動車リサイクル法へも対応可能)
- 2.生成物: 合成ガス(現状は製鉄所内の燃料ガスとして販売している:ガス発電等に利用)
- 3.技術:
  - (1)サーモセレクト方式ガス化溶融炉(JFEエンジニアリング)
  - (2)酸素を利用したガス化改質技術
- 4.立地: 千葉市中央区川崎町(商用プラント)
- 5.処理能力: 150t/日\*2炉(廃プラスチック、木屑等処理している)

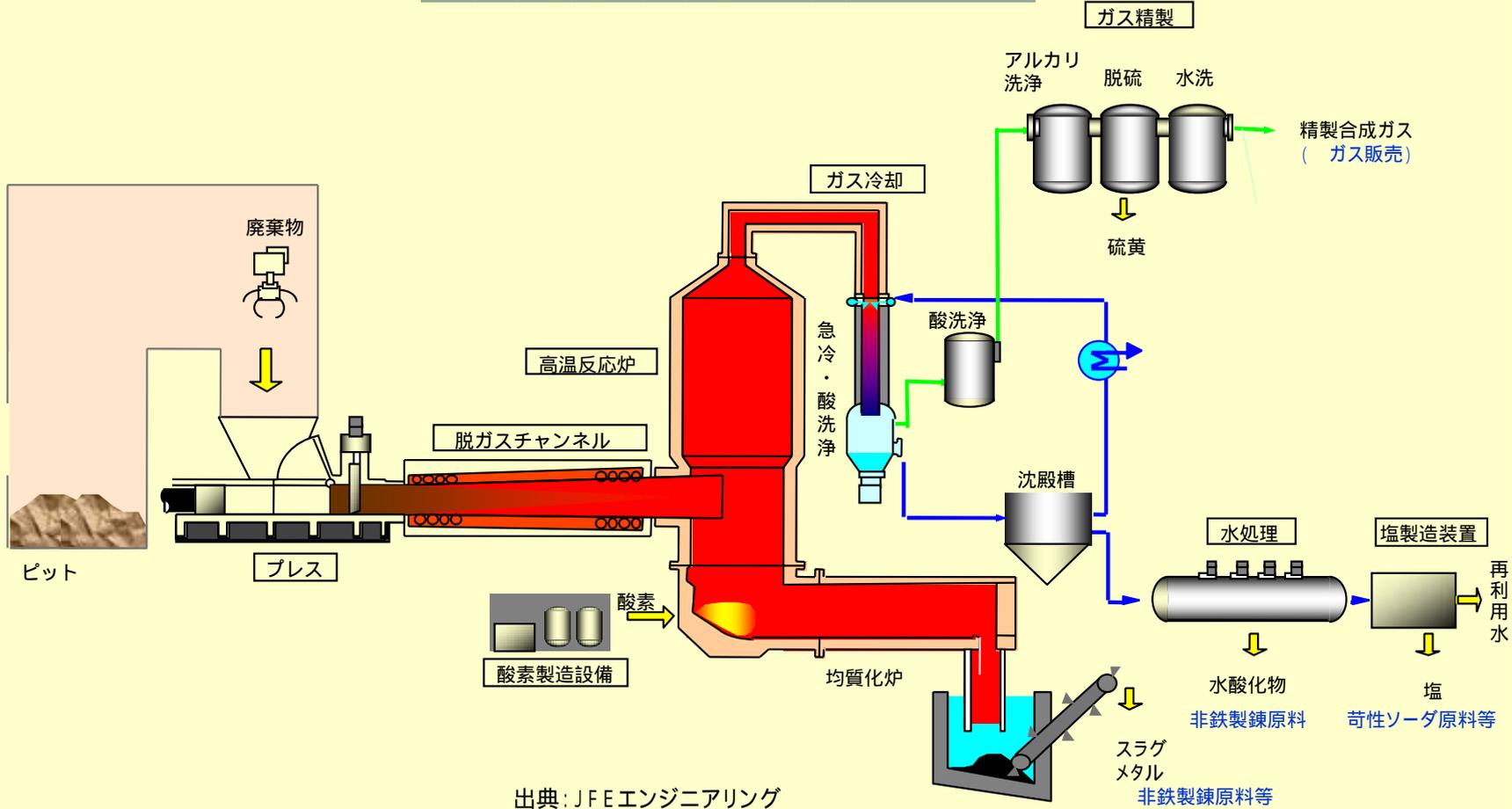
1997年にスイスのサーモセレクト社から廃棄物ガス化溶融技術の導入

- ・廃棄物から発生するガスを改質して燃料ガスとして直接利用できる新しいごみ溶融プロセス。
- ・JFEサーモセレクトはごみを溶融し、ガス化燃焼方式とは一線を画するガス化改質方式によってエネルギーや資源をリサイクルするという、新しい発想から生れた画期的なプロセスである。

JFEサーモセレクトの特長

- ・熱分解ガスを約1200℃で2秒以上保持した後、約70℃まで急冷することにより、ダイオキシンの発生を極限まで抑制。
- ・飛灰の発生が無いため飛灰処理コストが不要で、作業環境も良好。
- ・再利用可能な物質として回収するため埋立て処分ゼロも可能。
- ・廃棄物の持つエネルギーを清浄度の高い燃料ガスとして回収。その後発電用、化学原料等に利用可能

# サーモセレクト方式ガス化溶融施設



出典: JFEエンジニアリング

### 3 - 3 - 3 . ガス化技術(その4:ダイセル化学工業 / 新日本製鐵)

1. 原料: 塩ビを含有する廃プラスチック

2. 生成物:  $\text{CO} + \text{H}_2$       メタノール

3. プロセス:

高濃度塩ビ混入廃プラスチックを効率的にガス化し、塩酸を回収すると共に、メタノール合成も行う一貫プロセスである。  
NEDOの委託事業

部分酸化反応(加圧一段気流床ガス化炉:1300~1400℃、4気圧)、メタノール合成(液相)  
塩酸回収の工程から成っている。

4. 技術特徴

(1) 塩ビ混入廃プラスチックも選別することなくそのまま処理できる

(2) 二酸化炭素などの排ガスの発生が少なく環境負荷を低減できる

(3) 発生するスラグを路盤材などに利用できる

技術的には、酸化の度合いを調整して二酸化炭素の生成を抑える部分酸化工程が大きなポイントである。

5. プラント: 2000年7月から実証試験設備(廃プラ処理能力:5t/日、連続1週間運転)で実証実験が行われた。

試験結果から、

(1) 塩ビ100%の単独ガス化も可能であることが実証された。

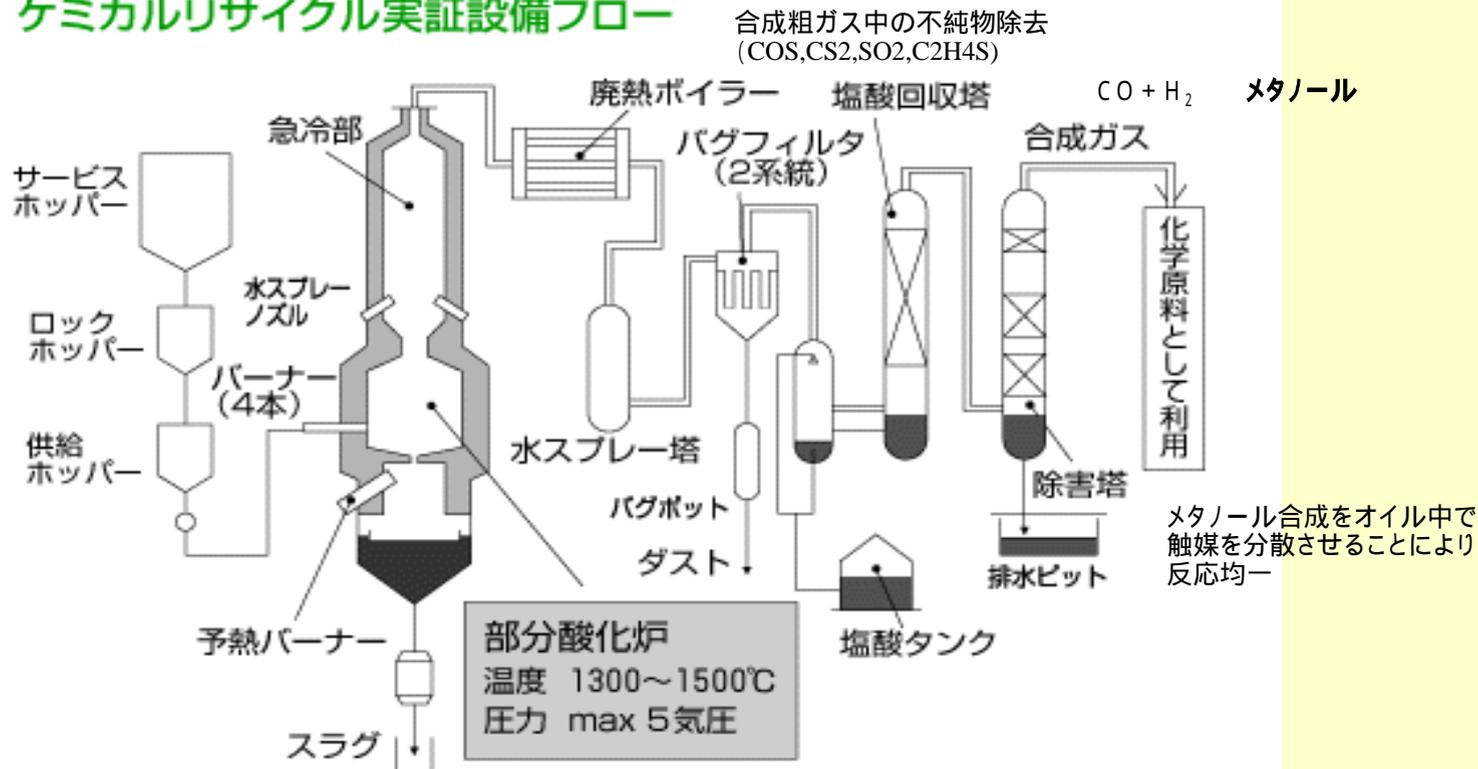
(2) 廃プラ中の塩素は大半が塩化水素となり、塩酸回収塔でほとんど回収される。回収塩酸の濃度は13~15%  
製鉄業での鋼板の酸洗いや、化学工業などで再利用できる。

(3) 合成ガス中のダイオキシン濃度は、環境基準の20分の1~200分の1と非常に少ない。

処理能力数万t/年規模の本プラントを建設し、塩ビ樹脂を含む廃プラスチック類を対象として実用化する事が検討されている。

# 「塩ビ混入廃プラケミカルリサイクル技術」の一貫処理プロセス

## ケミカルリサイクル実証設備フロー



部分酸化(酸素添加)が一段:  
 カーボン転換率(92%)  
 冷ガス効率\*(51%)

\* 廃プラが持っている発熱量に対する合成ガスの発熱量の比率で、合成ガス生成量の目安

合成ガス製造設備仕様  
 原料：一廃・産廃プラスチック(塩ビ含む)  
 処理能力：5t/D  
 合成ガス量：1000Nm<sup>3</sup>/H

出典：塩化ビニル環境対策協議会 PVC News, No.39

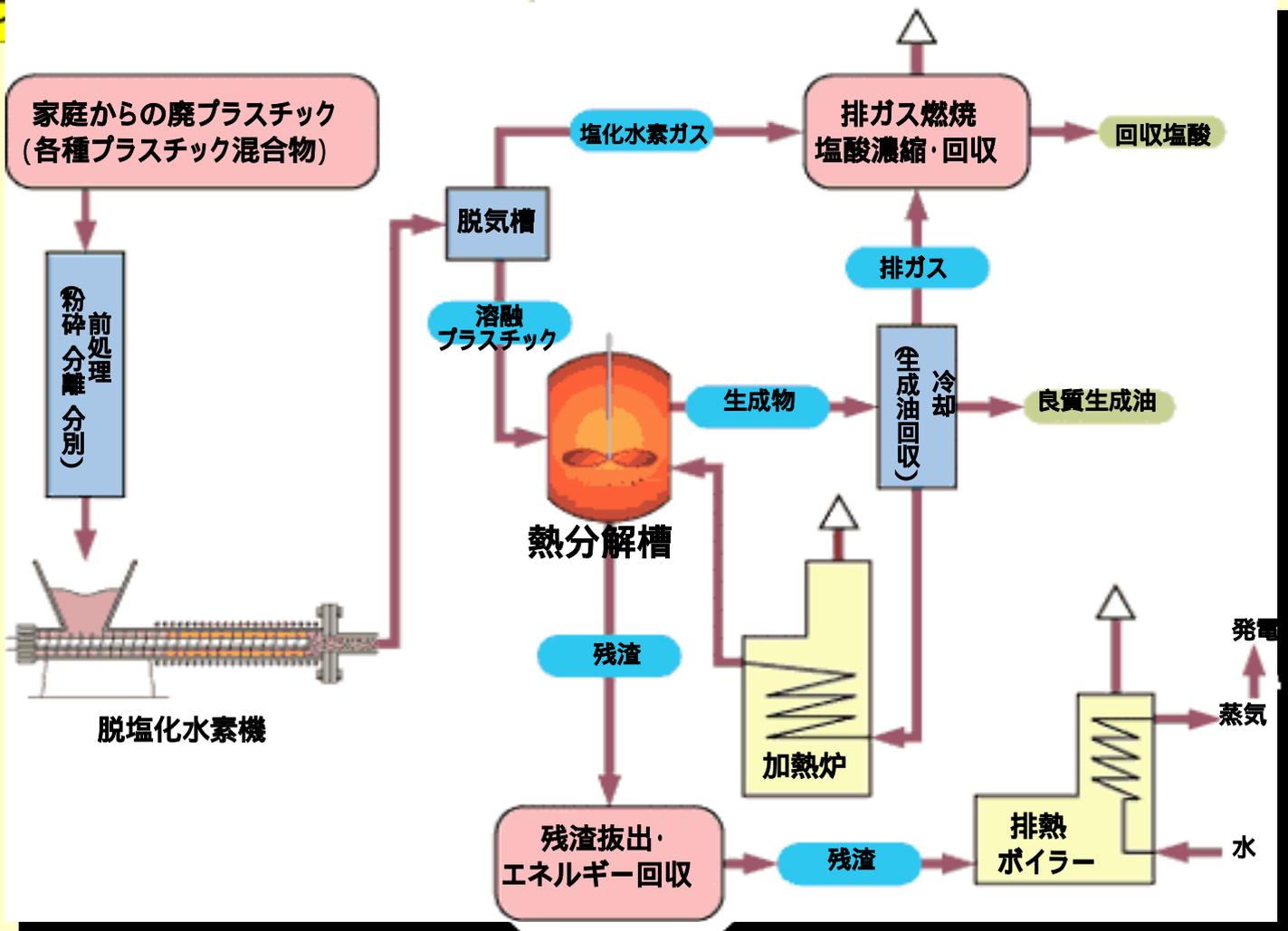
### 3 - 3 - 4 . 「油化技術」

#### 油化技術の概要

- 1 . 手 法 : 廃プラスチックを無酸素状態で加熱し、分子切断で分解生成油を得る。  
生成油は燃料に使用される場合が多く、サーマルリサイクルのケースが多い。
- 2 . 生成物 : 生成油 (54%) 石油製品 , ナフサ (ジャパンエナジー計画)  
生成ガス (18%) 運転エネルギー  
塩化水素 (2%) 塩酸  
油化残渣 (21%) 固形燃料
- 3 . 技術ポイント : 2 段法分解 (300 400 ~ 500 ) で、主にバッチ式 \*
- 4 . 大型実施企業と処理能力
  - ・歴世鉦油 (新潟市) : 6 千 t / 年 (1999 年 : プラ処理協、千代田化工)
  - ・札幌プラスチックリサイクル (三笠市) : 15 千 t / 年 (2000 年 : 東芝)
  - ・道央油化センター (札幌市) : 6.5 千 t / 年 (2000 年 : クボタ) 2004 年 3 月に停止済
- 5 . 処理実績 (自治体分) : 12 千 t (2003 年)、12 千 t (2004 年)
- 6 . 課題 :
  - (1) 処理コストが高いため、他のケミカルリサイクル手法に比し劣勢である。
  - (2) 地域分散型で、ポリオレフィン系廃プラスチック専用として採用されるかどうかポイントである。
- 7 . その他 :

御池鉄工所から連続式が、日陽エンジニアリングから地域分散型の小型油化装置が販売されている。

\* バッチ式は、1 回ごとに反応容器等で処理を行わせる方式である。これの反対が連続式で、処理を連続的に行うため、生産性がバッチ式よりも優れる。



## 各社油化プロセスの比較

	歴世鉱油	札幌プラスチックリサイクル	道央油化センター *
処理能力(T/Y)	6,000	14,800	6,500
設計	シナネン 千代田化工	東芝	クボタ
分解温度( )	340-390		315-390
触媒	無し		ZSM-5
生成物	軽質、中質、重質	軽質、中質、重質 50:10:40	軽質、重質
油収率(%)	50.7	65	48
塩酸(%)	5.2	2.0	6.0
油化残渣(%)	28.2	13.0	12.0
オフガス(%)	15.9	20	10
電力原単位(KWH/T) (前処理含む)	644	911	
燃料(Kg/T)	340	165	50(自燃)

\* 道央油化センターは、2004年3月にプラント停止している。

### 3 - 3 - 5 . 「原料・モノマー化技術」

原料・モノマー化技術は、プラスチック製品を熱分解、触媒処理などにより、モノマー段階までに分解し、新たな製品製造のための化学原料とするものである。

以下のプラスチック製品について検討が行われている。

- (1) ポリエチレンテレフタレート(PET)製品
- (2) ポリスチレン(PS)製品
- (3) ポリメタクリル酸メチル ( PMMA )製品
- (4) ポリアミド(ナイロン)製品
- (5) ポリカーボネート製品
- (6) ポリオレフィン製品
- (7) ポリウレタン製品
- (8) 熱硬化性樹脂製品

- ・最近、PET製品について、帝人ファイバー、ペトリバース2社によってPETボトルからケミカルリサイクルにより飲料PETボトルに戻すボトル to ボトルプロセスが商業化されている。
- ・PSについては、実用化に向けての技術的な課題がクリアーされている。
- ・PMMA、ナイロンについては、工場内で発生する端材などの再生処理により、再活用されている。また、ポリカーボネート等のケミカルリサイクルへの取り組みが行われている。

## (1) PET製品

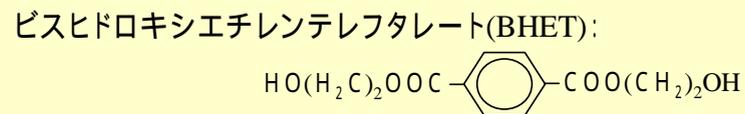
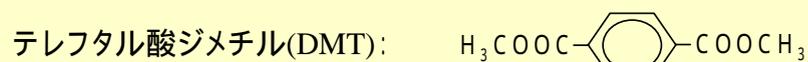
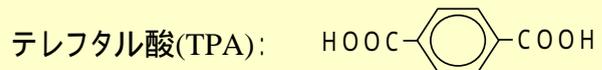
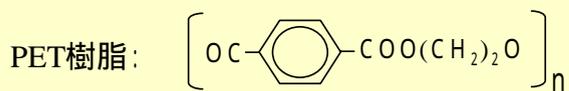
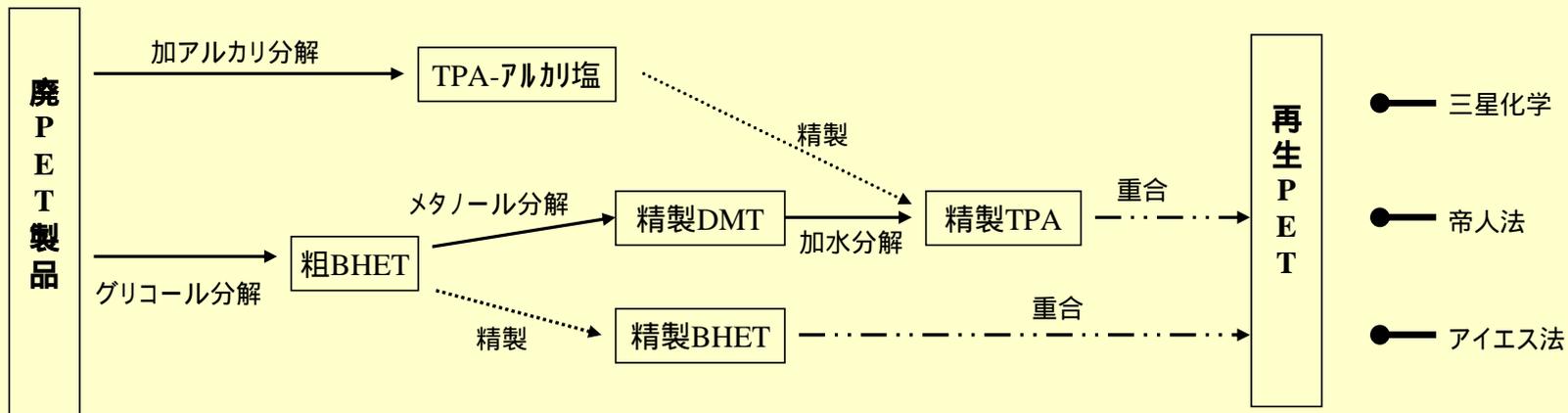
### 1. 技術概要

PETを分解して原料モノマーに戻す手法には各種あるが、代表的な例を下記に示す。

手法	技術	特徴・課題	適用例
加水分解	塩基性加水分解	・生成 TPA の精製が困難	商業化例は無い
	酸性加水分解	・生成 TPA の精製が困難	商業化例は無い
	超臨界水加水分解	・超高温高压下の過酷な条件での装置面、エネルギー面等に課題	ラボレベル
加溶媒分解	加メタノール分解	・高温高压下での過酷な反応 ・超臨界メタノール法による短時間分解処理	帝人(1997年に休止) 三菱重工(パイロット)
	加グリコール分解	・単純プロセス、高純度精製技術開発	ペトリバース商業化
	加グリコール/メタノール分解	・効率的な異物除去技術開発	帝人ファイバー商業化
加アルカリ分解	アルカリ/無水グリコール	・簡便型装置で地域分散型システム用 ・大量副生無機アルカリ塩の用途確保必要	実証実験段階 (三星化学)

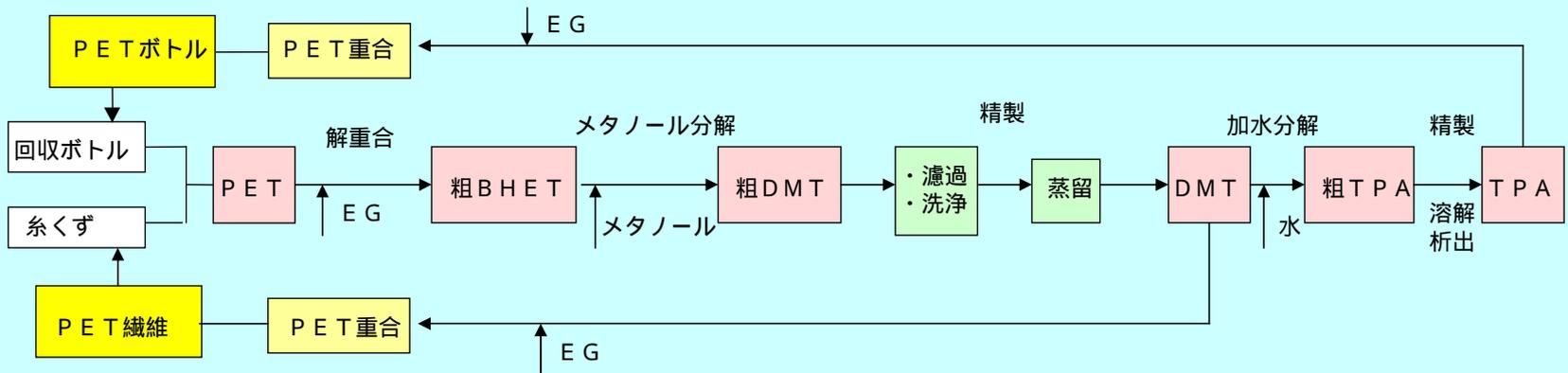
何れの手法においても、モノマー原料を得るための解重合反応は既知の技術を適用出来るが、回収PET樹脂に混入している不純物を除去して高純度のモノマー原料を得る技術は新規に開発する必要があるが有り、如何に経済的に除去技術を開発するかが重要な鍵を握っている。

## 回収PET製品から再生PET樹脂製造法の代表的フロー図

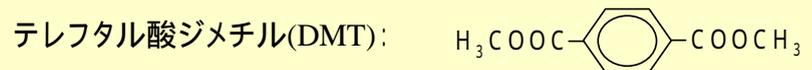
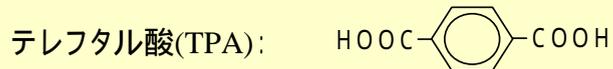
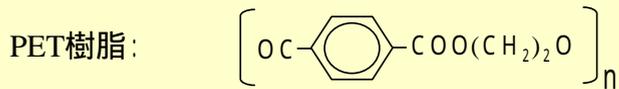


# PETリサイクル

## 実用ケミカルリサイクル法 (帝人法)

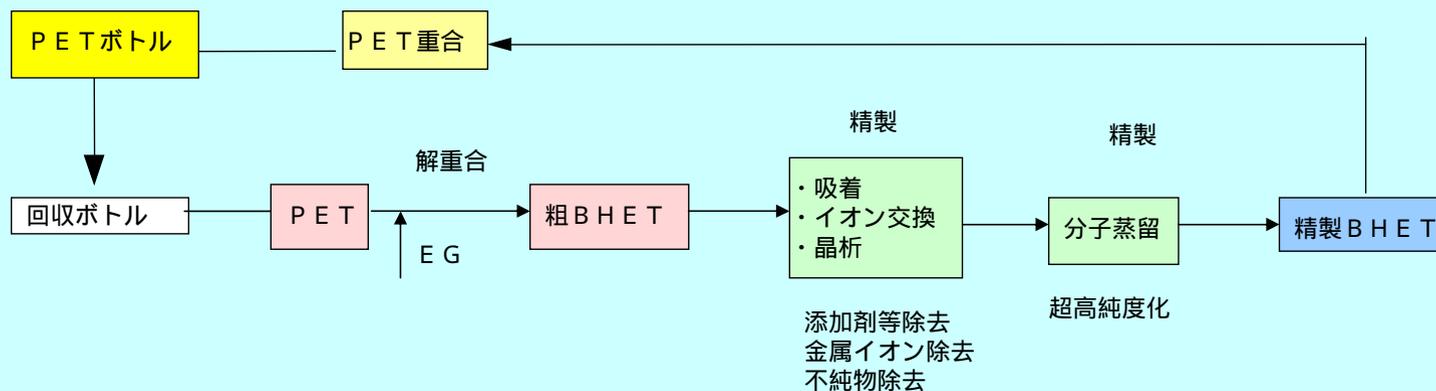


精製を2段階(DMT、TPA)で行っており、不純物を徹底的に除去している。

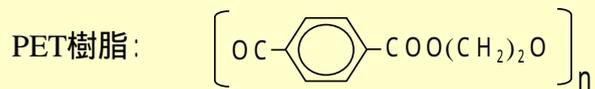


# PETリサイクル

## 実用ケミカルリサイクル法 (アイエス法)



分子蒸留は、 $10^{-3}$  Torr以下の高真空下で行う蒸留で、普通の減圧蒸留では蒸留できない高沸点物質、または、熱に不安定な物質等に応用が可能である。この分子蒸留法技術の確立がBHET精製のキーになっている。



ビスヒドロキシエチレンテレフタレート(BHET):



## 2. 技術ポイント:

- ・経済的に触媒残渣や異種プラスチック等を分離除去する技術の開発
- ・モノマー化への連続反応技術の開発

## 3. 課題:

- ・原料となる廃PETボトル製品を如何に効率的に必要な量を確保するかが重要

## 4. 対象製品:

- ・廃PETボトル製品

## 5. 実施例:

帝人ファイバーとペトリバースで、ボトル to ボトルリサイクルの商業運転が行われている。

### ・帝人ファイバー

ボトル用樹脂製造能力:50千t/年(2003年11月操業開始) (廃PETボトル処理:62千t/年)  
2001年米国FDA承認、2004年3月に内閣府 食品安全委員会での承認  
2004年4月よりPETボトル用樹脂の販売開始

### ・ペトリバース

ボトル用樹脂製造能力:22.3千t/年(2004年) (廃PETボトル処理:27.5千 t/年)  
投資額:80億円  
2001年米国FDA承認、2004年9月に内閣府 食品安全委員会での承認  
2004年4月よりPET樹脂の操業開始

また、三星化学(加アルカリ分解法)では、実用化への検証実験が行われており、一方、三菱重工業(株)\*では、超臨界メタノール法による短時間でモノマーに戻す技術開発を進めており、パイロットプラントでの試算結果から2から4万t規模のプラントで採算性が確保出来る見通しがある事を示している。

\*三菱重工技報、39巻5号(2002年)

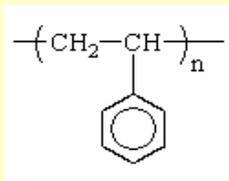
PETボトル以外のPET製品のケミカルリサイクルとして、帝人ファイバー(年産10千t規模)や旭化成(年産3千t規模)で繊維用途向け(長繊維を含む)の事業化が実施されている。

## (2) ポリスチレン(PS)製品

### 1. 技術概要:

- ・PSは、熱分解によりスチレンモノマー(SM)が得られるが、2量体や3量体、更にはトルエン、エチルベンゼン等の芳香族系炭化水素も生成し、蒸留精製技術が必要とされる。

ポリスチレン:



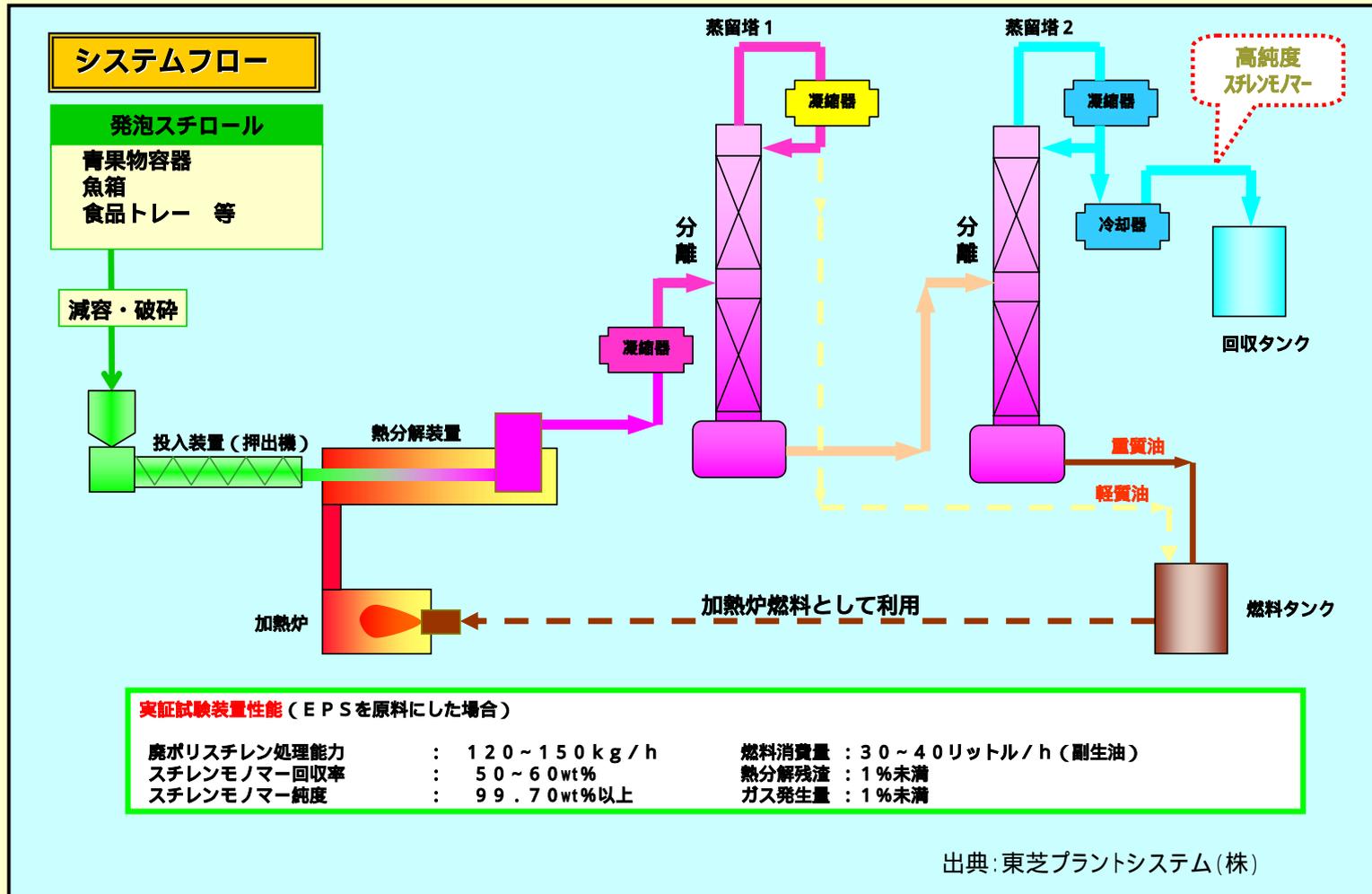
- ・分解温度が高いほどSMの生成が優先するが、SMへの最大変換率は約70%である。
- ・全工程を減圧下で実施し、無触媒により低コスト、高純度、高効率を達成する事が可能である。
- ・副生する重油をシステムの燃料として活用出来るため、化学原料回収と合わせ99%リサイクルされる。
- ・東芝プラントシステムは、最適な熱分解条件を見出し、高収率・高純度のモノマー回収(精製処理後で、SM回収率50%以上、SM純度99.7%以上)を実現した。
- ・ハロゲン難燃剤が含まれているPSからのSM回収も実験室レベルとして検討が行われている。



東芝プラントシステム(株) 山梨実証試験施設

山梨県東八代郡一宮町 エルテック(株)内

## PS製品からのモノマー回収フロー図



## 2. 技術ポイント:

最適な熱分解条件の設定がキポイントであり、高温下(高SM収率)の減圧(エチルベンゼン等の生成抑制)した容器内で熱分解を実施

## 3. 課題:

(1) 廃PS製品の効率的な回収ネットワークの構築

## 4. 対象製品:

・発泡スチロール

PSの国内出荷量は、約110万tであり、その内、発泡スチロールは約40万t使用されている。

## 5. 実施例:

・東芝プラントシステムが、NEDOの産業技術実用化助成事業により実規模プラント(処理量: 1千t/年)を建設し、所定の性能を確認している。

### (3) PMMA (ポリメタクリル酸メチル) 製品

#### 1. 技術概要

PMMAは、熱分解により、ほぼ100%の収率でモノマーを回収する事が可能な樹脂である。熱分解方法として、乾留法、流動床法、押出法、熔融金属法がある。環境問題から熔融金属法は検討が行われなくなっている。

熱分解機構:加熱温度が300 以上では、ポリマー主鎖が任意の位置で切断して分解する。

・モノマー収率は、熱分解温度に依存し、400 近辺で最も収率が高くなる。

#### 2. 技術ポイント: 最適な熱分解温度、原料の滞留時間の設定

#### 3. 課題: 市場に出た製品のケミカルリサイクルについては、回収ネットワークの構築が必要

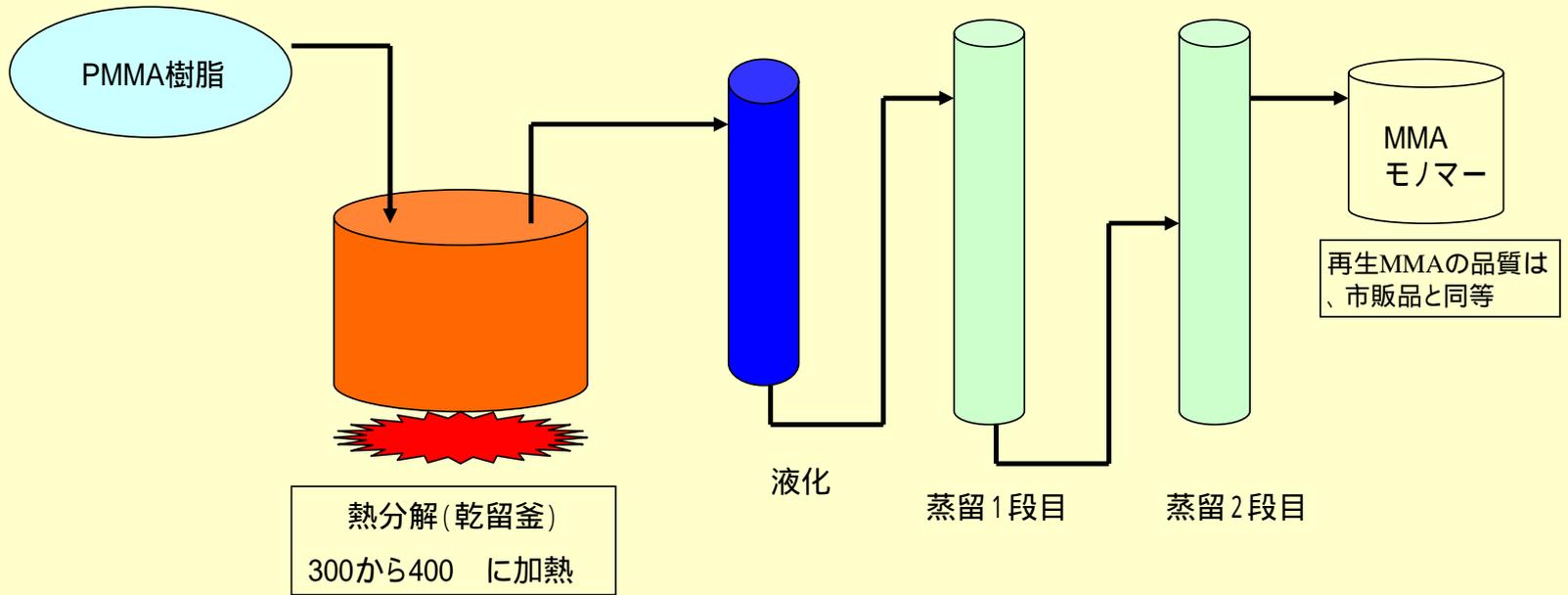
#### 4. 対象製品: 現状、産業廃棄物(工場で発生する端材など)

#### 5. 実施例

・三菱レイヨンが、1997年にプラント(装置の運転が容易で、ランニングコストが低い乾留法を採用)を建設し、自社工場で発生する端材などを約2千t/年処理し、モノマー回収を行っている。回収されたモノマーは、自社工場でのPMMA重合に使用される。廃棄物を出さないクローズドシステムを実現している。

また、2軸スクリュウ押出機を用いた押出機の剪断発熱を利用したリサイクル技術も開発(日本製鋼所、高水化学工業)されている。

## PMMA樹脂モノマー化のフロー図



## (4) ポリアミド(ナイロン)製品

### 1. 技術概要:

- ・ナイロンには、モノマーの多様性から、ナイロン6、ナイロン66、ナイロン11、ナイロン12等の多様のポリマーがあるが、ナイロン6についてモノマー化が行われている。
- ・ナイロン6は、りん酸などの触媒存在下で、加熱水蒸気で解重合されるが、解重合が容易で、生成成分が一つ(ε-カプロラクタム)であるので、精製が容易である特徴がある。収率は85～95%である。
- ・ガラス繊維強化ナイロン6を使った自動車部品(インテークマニホールド)について、希釈溶融分離後、触媒としてりん酸を使用し解重合を行い、ε-カプロラクタムを回収する技術も開発されている。

### 2. 技術ポイント:

- ・ナイロン6解重合反応における最適な触媒(りん酸触媒)の選択

### 3. 課題:

- ・市販製品には、着色剤や他の高分子材料が混入しているので、これらが不純物として混入するとリサイクル品の品質は劣る。

### 4. 対象製品:

- ・基本的には、工場内で発生する端材がケミカルリサイクルされている。

### 5. 実施例:

- ・東レでは、ナイロン6 繊維製ユニフォーム等のリサイクルを1950年代と歴史的に古くから行われているが、当初はロス削減の観点が強い。
- ・帝人は、1997年に廃棄されるナイロン6製漁網を回収、ナイロン原料に戻すケミカルリサイクルを始めた。
- ・トヨタ自動車、日本電装では、ガラス繊維強化ナイロン6のリサイクル研究開発を実施している。

## (5) ポリカーボネート製品

### 1. 技術概要:

粉碎された廃ポリカーボネート樹脂を液相(溶媒:シクロヘキサノール)中で、触媒(炭酸ナトリウム)を使い、熱分解を行わせる。得られた液状物を蒸留し、所定のモノマーであるビスフェノールA(BPA)を回収する。

### 2. 技術ポイント:

・液相分解法によるマイルド反応条件下でのモノマー高収率

### 3. 課題:

- (1) 製造コストを下げるための低価格な分解反応溶剤の選定が必須である。
- (2) リサイクルシステムの構築が必要とされる。

### 4. 対象製品:

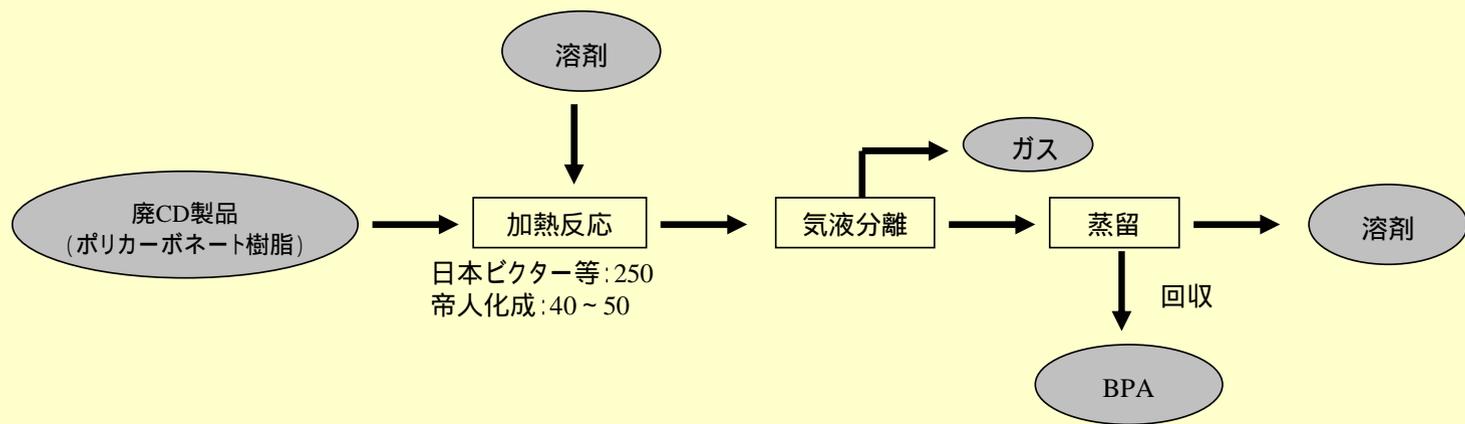
廃コンパクトディスク(CD)、DVDディスク

日本ビクターでは、年間1億数千万枚の光ディスクを生産している。

### 5. 実施例:

- (1) NEDOの地球環境産業技術に係る先導研究として、「熱硬化性樹脂などの液相分解法によるモノマー・化学原料へのケミカルリサイクル技術の開発(平成12～14年度)」が、(財)クリーンジャパンセンターを中心に、日本ビクター、三井石炭液化等により進められている。  
・オートクレーブ(小型実験装置)での検討で、BPAモノマー回収率78wt%を達成。シュミレーションでは、蒸留塔4塔使用する事で、BPA純度99.9wt%で精製出来る見通しである事を確認。
- (2) NEDOの超臨界流体利用環境負荷低減技術研究開発(平成12～16年度)」の一環として、NIKKISOが超臨界流体法によるビスフェノールA回収の検討を進めている。
- (3) 帝人化成がポリカーボネートの低コスト化ケミカルリサイクル技術を開発した。40～50℃の低温でゆっくり反応させる手法により、急激な分解による副生成物の発生を抑える事が出来、低コスト化を達成している。2005年2月に松山工場に実証プラント(2億円)を建設し、事業化の是非を判断する。

## ポリカーボネート樹脂のモノマー化フロー図



## (6) ポリオレフィン製品

### 1. 技術概要:

触媒を使った接触分解法により、ポリオレフィン(石油化学原料である芳香族炭化水素(ベンゼン、トルエン、キシレンのBTX)に効率的に転換するもので、廃ポリオレフィンから約60%の石油化学原料を回収する。また、発生ガスからオレフィン(エチレン、プロピレン)、水素を回収する。

### 2. 技術ポイント: 分解効率の良い触媒(ガリウムシリケート触媒:室蘭工大 道上研究室が開発)が開発されている。

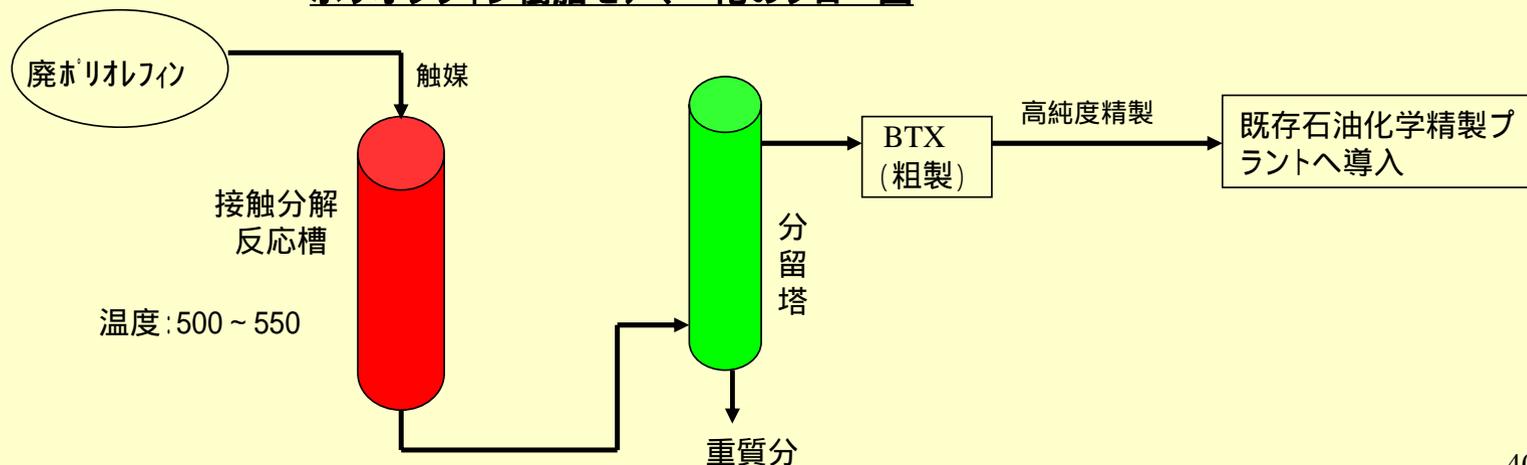
### 3. 課題: 一般廃プラスチックからポリオレフィン樹脂のみを経済的に選別する技術の開発

### 4. 対象製品: 産廃系プラスチック(ポリオレフィン)

### 5. 実施例: NEDOの基盤技術研究促進事業の委託事業として、石川島播磨重工等が技術開発を進めている。

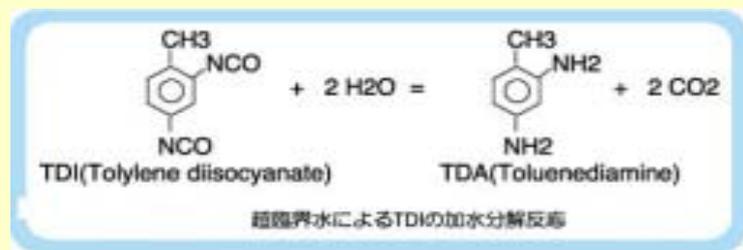
- ・ミニプラント(処理量:1kg/hr)での検討で、1kgのポリオレフィンから600gのBTXを回収
- ・2004年度中に実証プラント(処理量:10kg/hr)が建設され、2005年度に実証試験が行われる予定。

### ポリオレフィン樹脂モノマー化のフロー図

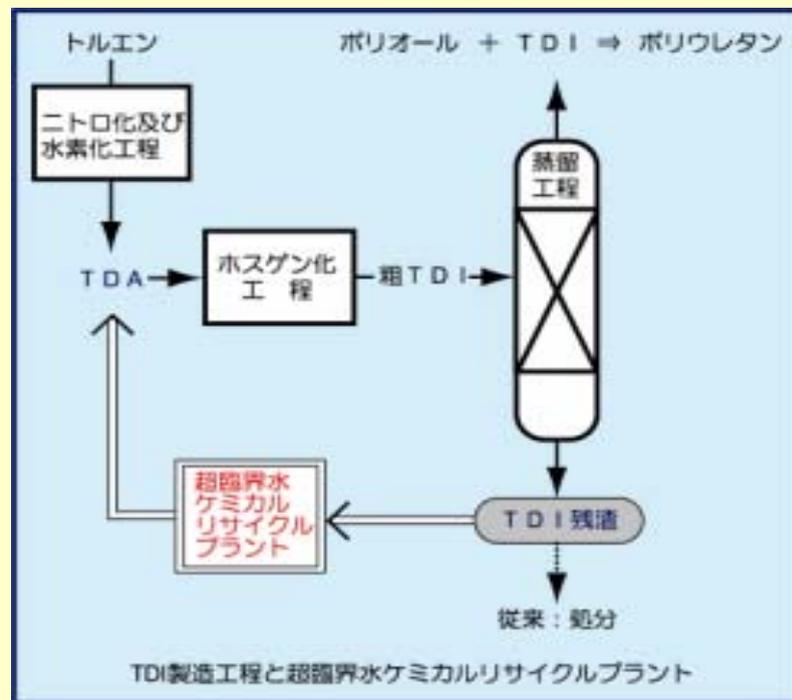


## (7) ポリウレタン製品

- ・ポリウレタンを化学的に分解し、モノマーに戻しウレタン原料として回収する手法には5種類(グリコール分解、アミン分解、アンモニア分解、加水分解、熱分解)の方法がある。
- ・三菱電機では、冷蔵庫の断熱材であるウレタンフォームのケミカルリサイクルの検討を行っている。
- ・神戸製鋼所では、ポリウレタンの原料であるトリレンジイソシアネート(TDI)の製造工程で発生する蒸留残渣のTDI及びその重合物を超臨界水による加水分解反応を利用し、蒸留残渣からトルエンジアミン(TDA)を回収、再びTDIの原料として利用するケミカルリサイクル技術を開発(TDA回収率80%以上)している。  
1998年に神戸製鋼所の技術を基に、超臨界水を用いたケミカルリサイクルプラントが武田薬品鹿島工場TDIプラントに併設され、商業運転(年間数千t規模)が開始された。



出典：神戸製鋼所ホームページ



出典：神戸製鋼所ホームページ

## (8) 熱硬化性樹脂製品

- ・ポリカーボネートのモノマー回収と同様に、NEDOの地球環境産業技術に係る先導研究として、「熱硬化性樹脂などの液相分解法によるモノマー・化学原料へのケミカルリサイクル技術の開発(平成12～14年度)」が、(財)クリーンジャパンセンターを中心に、日立化成工業、三井石炭液化等により進められており、液相分解法によるベンチ評価で、フェノールモノマー40%以上回収する事に成功している。
- ・住友ベークライトでは、超臨界水法によるフェノール積層板からのフェノール回収研究が行われている。
- ・フェノール樹脂やエポキシ樹脂などの熱硬化性樹脂を分解する方法が超臨界水の手法や液相分解法を使って研究されている。フェノール樹脂が分解できる事は確認されているが、実用化にはコスト面での課題がある。

フェノール樹脂銅張積層板の液相分解フロー図

