プラスチック工業

プラスチック廃棄物の処理方法は焼却、再生、溶融固化、分解利用がある。焼却は処理法として最も簡単な方法で、プラスチック専焼炉として各種の方法があるが、全プラスチックに適した方式はまだない。再生は比較的程度のよい廃棄物でないとい用いることができないので、原料に制約がある。溶融固化はいったん加熱溶融してから固化させるもので、その製品の用途が狭い。分解は加熱によって低分子化合物に変えることを応用したもので、生成物は主として燃料、化学工業原料として用いられる。方式は多くの会社や公立機関などから計画やプラントが発表されているが、一部を除いてまだ工業化されたものはない。これら各種の処理方法は現在研究中のものが多く、今後の発展に待つところが多い。以上の各処理法について概説した。

安 藤 宏*

1. 前 言

プラスチックは石油化学の発展によって急激に生産が増大し、その耐久性、低価格などのため、日常生活のすみずみまで行き渡った。しかし耐久性と生活への普及性がかえって災となり、プラスチック公害とまでいわれるに至った。さらにごみとして処理する場合、体積の大きいこと、発熱量の大きいこと、炉材を腐食するガスや有毒ガスを発生するものもあることなど、その処理方法にも問題が多い。この処理は従来焼却と投棄に任かされていたが、最近になって再生、溶融固化、分解など種々の処理および利用方法が研究され、一部実用化されるようになった。ここではプラスチック工業に関連した公害防止技術のうちプラスチック廃棄物の処理方法について簡単に述べよう。

2. 燃 焼 処 理

プラスチックのみでなく、一般にごみの処理は可燃性物質であれば焼却がもっとも手早く簡単であるので、従来その方法がとられてきた。しかしプラスチックに関しては問題がないわけではない。通常用いられているごみ焼却場の炉で燃やした場合、炉のロストルより溶け落ちたり、炉自身をいためるガスを生じたりする。そこでプラスチックの専焼炉の考案も発表されている。

プラスチックは熱可塑性のものと熱硬化性のものがあり、燃焼時における性質が全く異なっている。このような種々の性質の異なる物質を一種の炉で焼却しようとする

ところは無理を生ずる。しかしプラスチックの種類別に焼却炉を設置するわけにもいかないので、多少無理を承知で焼却炉をつくらねばならない。

2-1. 燃焼装置の条件

プラスチック燃焼装置としては次のような条件¹⁾に合致するものが望ましい。1) 燃焼能力が大で故障の少ないこと、2) 完全燃焼が行なわれ、ススの出ないこと、3) 供給が連続的で安定した運転が長時間にわたって可能であること、4) 排煙中に有害物質を含まないこと。第1表²⁾は各種の燃焼方法とそれに適したプラスチックを示したものであるが、これによればすべてのプラスチックに対して適した燃焼方法はない。しかしプラスチックの種類別生産量などより考えれば充テン層燃焼などが適したものといえる。

2-2. 燃焼と公害

プラスチック焼却で問題となる有害物質は、ガスでは塩化水素、シアン化水素、窒素酸化物³⁾であり、固体では重金属類である。塩化水素はポリ塩化ビニルなどの含

第1表 各種プラスチックの焼却方法²⁾

種類 焼却方法	熱硬化性 プラスチック	熱可塑性 プラスチック	ポリ塩化 ビニル	液状物
床 燃 焼	○	◎	○	○
火 格 子 燃 焼	◎		○	
充テン層燃焼		◎	○	◎
回転炉式燃焼	◎	○	○	
旋回気流燃焼	○	○	○	◎
噴 霧 燃 焼		○		◎
空 間 燃 焼	◎	○	◎	
流動層燃焼	○	○	◎	○

◎ 適, ○ 可

* Hiroshi ANDO 工業技術院公害資源研究所 (332
川口市寿町 188) 資源第2部第2課長・工博
Treatment of Plastics Waste

塩素プラスチックより、またシアン化水素は含窒素プラスチックより生ずる。しかしシアン化水素は1000°C以上の高温では分解するので排ガスに含まれることはない。窒素酸化物は含窒素プラスチックから生ずるだけではなく、1000°C以上の高温で空気過剰の状態で燃焼する場合には必ず生成する。低温燃焼をすれば窒素酸化物は生じないが、ススを生じ、有機物をそのまま排出するおそれもあるので、現在のところ窒素酸化物の生成を防止する決め手はない。塩化水素はアルカリ洗浄にて除去することが可能であるが、その経済的負担と、アルカリと化合して生じた塩化物の処理が問題である。さらに塩化ビニルや顔料中に含まれる重金属は燃焼の際、相当量が排煙に含まれるので、この処理を十分に行なう必要があり、また灰の処理にも考慮を払う必要がある。いずれにしても燃焼は単に燃焼施設をつくるだけにとどまらず、排煙処理、排水処理さらに残灰の処理についても配慮して行なうべきである。

3. 再生利用

熱可塑性プラスチックが比較的純粋な形で廃棄される場合、簡単な処理によって再び利用されている。再生処理は経済に左右されることが大きく、いわゆるバージン物の価格が低下すれば再生業はなりたたなくなる。そのため洗浄、乾燥などの処理を必要とする原料は歓迎されない。

再生方式¹⁾は一般に洗浄、乾燥、破碎、押出し（またはロール）、ペレット（またはシート）の工程をとる。主工程は押出し、またはロールで原料を練ると同時に品質向上のため安定剤、充テン剤、着色剤などを加える。このあと再生ペレットまたはシート状として出荷する。工程は非常に簡単ですでに企業化されていて、技術上改善の余地は少ない。ただ異種プラスチックが混合されている場合は、現在のところ原料として使用されていない。今後経済的な選別方法が開発されたならば再生処理は進展するであろう。

4. 溶融固化利用

溶融固化とはプラスチック廃棄物を加熱して溶融状態

安藤 宏氏 昭和14年浜松高等工業専門学校応用化学科卒業。昭和16年燃料研究所（現在の公害資源研究所）に勤務現在に至る。研究歴は1)フルフラーンに関する研究および高オクタン燃料の合成、2)タール塩基油の研究、3)イソブレン合成の研究、4)プラスチック分解の研究。趣味は園芸、音楽、写真。

とし、枠型に入れて一定の形として冷却するもので、原料プラスチックよりも低品位のものになることはまぬがれない。溶融固化に用いられるプラスチック廃棄物も再生利用と同様単一種類のものであれば問題はない。しかし家庭より排出されるプラスチックを原料とする場合は、そのまま溶融固化すれば常時製品品質が変動するので、原料調製工程で種類の選別を行ない、溶融固化の際に一定の割合で混合する方式をとらざるをえない。溶融固化の工程は大略次の過程を経る。

原料収集—破碎—金属選別—洗浄—水洗—樹脂分別—乾燥—均質混合—溶融—型入れ—製品

溶融固化の方法は大別して押出加工、圧縮加工、発泡加工の3種に分けられる。押出加工とはプラスチックの成形に用いられる押出機に類似したもので、加熱して半溶融状にしたものをよく練り混和しつつスクリーンで押出し、型に入れて冷却し、成形するものである。現在のところ製品としては建築用資材として住宅用根太、足場板、空洞ブロック、農業用資材として魚礁、のり用支柱など、工業用に枕木など、土木用として道路舗装用骨材、歩道用平板、U字溝などが製造されているが、価格、強度その他の点から大量に使用されるには至っていない。

圧縮加工法とは加熱油に廃プラスチックを投入し、軟化させたのちプレス加工する方法と、廃プラスチックシートやフィルムに充テン剤を加えたのちプレス加工を行なう方法の2種がある。前者は押出法と基本的には変わりはないが、大型成形物の製造が容易であり、装置も簡単であり、大量処理が可能であるという長所があるが、加熱油の再生、製品の品質、製品中の残留油の除去など欠点も多い。フィルム、シートなどの溶融圧縮加工は粉碎したプラスチック素材と繊維素材を混合し、熱圧成形

第2表 プラスチックの種類と再生方式¹⁾

プラスチックの種類	再生方式		45年度における再生量*
	ロール	押出し	
ポリ塩化ビニル（軟質）	○	○	11,227
（硬質）	○	○	703
ポリプロピレン		○	13,686
ポリエチレン（高圧法）		○	33,448
（中低圧法）		○	4,707
ポリスチレン		○	14,645
AS樹脂		○	470
ABS樹脂		○	2,648
ポリアミド		○	
ポリカーボネート		○	
ポリアセタール		○	
メタクリル樹脂		○	526

* 東京、埼玉、神奈川、千葉の合計

第3表 ポリエチレン熱分解生成物組成 (wt. %)⁴⁾

	熱分解温度	410 ~ 450°C			450~470°C
	ポリエチレンの種類	L	H ₁	H ₂	L
ガス状生成物	水素	0.36	0.21	0.55	0.45
	メタン	1.90	3.58	3.71	1.14
	エタン	14.90	12.48	15.54	12.08
	エチレン	5.78	3.90	4.61	6.68
	プロパン	19.32	21.28	20.43	19.45
	プロピレン	23.57	18.34	17.74	23.41
	<i>n</i> -ブタン	11.00	14.98	12.98	10.13
	<i>l</i> -ブテン	9.40	14.23	13.09	10.51
	トランス-2-ブテン	1.99	1.55	0.69	1.69
	シス-2-ブテン	5.07	4.66	4.03	4.13
	1,3-ブタジエン	6.24	3.59	3.47	1.46
液体生成物 280° までの留分	C ₅	0.47	1.20	3.16	8.87
	~C ₃ *1	0.08	0.03	0.06	0.38
	C ₄ *1	0.85	0.64	0.81	1.13
	C ₅ *1	1.72	1.57	1.92	1.84
	C ₆ *1	3.79	3.59	3.80	3.85
	C ₇	1.12	1.05	0.79	1.23
	<i>l</i> -ヘプテン	2.02	2.42	2.25	2.28
	<i>n</i> -ヘプタン	2.93	3.17	2.88	2.37
	C ₈	1.67	1.65	1.38	1.54
	<i>l</i> -オクテン	2.98	3.23	2.91	2.26
	<i>n</i> -オクタン	3.13	3.22	3.29	2.29
	C ₉	2.02	1.96	2.60	1.20
	<i>l</i> -ノネン	2.99	2.89	2.80	2.66
	<i>n</i> -ノナン	3.65	3.51	3.36	2.44
	C ₁₀	1.18	1.55	1.85	1.40
	<i>l</i> -デセン	3.30	3.18	3.09	3.31
	<i>n</i> -デカン	3.55	3.43	3.24	2.69
	C ₁₁	0.91	1.92	1.35	1.39
	<i>l</i> -ウンデセン	3.04	2.90	2.73	3.10
	<i>n</i> -ウンデカン	3.81	3.72	3.49	3.01
	C ₁₂	1.30	1.38	1.12	1.15
	<i>l</i> -ドデセン	2.93	2.88	2.72	3.03
	<i>n</i> -ドデカン	4.03	4.07	3.75	3.65
	C ₁₃	1.14	1.56	1.36	1.08
	<i>l</i> -トリデセン	2.67	2.75	2.56	2.95
	<i>n</i> -トリデカン	3.81	3.91	3.69	3.62
	C ₁₄	0.79	1.12	1.23	0.83
	<i>l</i> -テトラデセン	2.64	2.57	2.50	3.05
	<i>n</i> -テトラデカン	4.07	3.91	3.64	3.81
	C ₁₅	0.69	1.27	0.94	0.68
	<i>l</i> -ペンタデセン	2.51	2.35	2.32	2.92
	<i>l</i> -ペンタデカン	4.24	4.28	4.04	3.79
	C ₁₆	0.81	1.08	0.85	0.78
	<i>l</i> -ヘキサデセン	2.07	1.63	1.78	2.36
	<i>n</i> -ヘキサデカン	4.01	3.74	3.68	3.67
	C ₁₇	0.45	0.54	0.63	0.63
	<i>l</i> -ヘプタデセン	1.93	1.36	1.43	2.02
	<i>n</i> -ヘプタデカン	3.94	3.96	3.89	3.76
	C ₁₈	0.32	0.76	0.29	0.36
	<i>l</i> -オクタデセン	1.27	0.73	1.18	1.51
	<i>n</i> -オクタデカン	2.88	3.02	3.55	3.47
	C ₁₉	0.44	0.06	0.21	0.90
	<i>l</i> -ノナデセン	0.95	0.36	0.85	0.84
	<i>n</i> -ノナデカン	2.23	2.33	3.25	2.64
	C ₂₀	—	—	—	0.01
	<i>l</i> -アイコセン	0.48	0.25	0.50	0.49
	<i>n</i> -アイコサン	1.47	1.82	2.29	3.05
	<i>n</i> -ヘンアイコサン	1.01	0.70	1.15	1.71
	<i>n</i> -ドコサン	—	—	—	1.68

(注) C₇以上のC₇, C₈…と記したものは*l*-オレフィンと*n*-パラフィン以外のものを合計したものの。
 ポリエチレン L=低圧法ポリエチレン, H=高圧法ポリエチレン。*1 オレフィン, パラフィンの合計

してボードなどをつくる方法であり、原料が薄肉成形品に限るが、樹脂の着色の有無、多少の汚れがあっても選別の必要がない。

発泡加工¹⁰⁾とは金型内に橋かけ性のポリオレフィン発泡組成物と、橋かけしないものを入れて加熱すると、橋かけしないポリオレフィンが外部に押出されて表皮となり、内部は発泡した橋かけポリオレフィンの層となり、両者が強固に接合し、サンドイッチ構造のきわめて強い複合成形体となることを利用したものである。用途は合成木材などである。

5. 分解処理

プラスチックは高分子化合物であり、加熱などによって容易に低分子化合物に分解する。分解処理は高分子のこのような性質を利用し、プラスチック廃棄物になんらかの処理を施して低分子化合物に変えて利用する処理方法である。一般にプラスチックは分解してモノマーを得やすいものと、ほとんどモノマーが得られないものがある。前者の例としてポリスチレン、後者にポリエチレンがある。モノマーを容易に得られるものは分解してモノマーにもどし、再び重合の原料にすることはできるが、実際上はプラスチック廃棄物が異種のプラスチックを含むこと、たとえモノマーが得られたとしても、現在の石

油化学製品に比べて問題にならないほど生産量が少ないことなどの理由から、そのモノマーが活用されることは少ないであろう。現在のところ分解生成物は燃料など価値の低いものにしか利用されない悩みがある。

5-1. 分解生成物の組成

プラスチックの種類と分解条件によって生成物の組成は異なる。熱分解生成物の組成の一例を第3表に示した。この表で明らかなようにポリエチレンの熱分解によってパラフィン、オレフィンのあらゆる炭素数の炭化水素が生成する。ポリプロピンの場合もこれに似た結果を示す。これは炭素鎖が無秩序に切れるためで、通常の熱分解の方式を用いる限り一定分子量のものだけを得ようとすることは無理で、分解条件の選択で比較的分子量の大きいもの、または小さいものを集約的に得ることができるだけである。ポリスチレンの場合は以上と異なり、高分子を構成している最小単位のスチレンモノマーになる率が多く、第4表のような結果が得られている⁹⁾。第4表に示されていない2量体、3量体などはさらに分解をくり返すことによってモノマーとなるので、第4表の値は最終収率と考えてよい。

5-2. 分解の方法

プラスチックの分解の方法は熱分解、接触分解、水素添加分解など種々の方法があるが、熱分解が簡単であり

第4表 プラスチックの熱分解例

分解方法		スクリーン方式 (連続式)		回 分 式		
原料 プラスチック		ポリエチレン	ポリプロピレン	ポリ ス チ レ ン		
分解温度 (炉温 °C)		600	600	425	465	520
原料供給速度 (g/min)		27.9	14.4	—	—	—
生成物 ^{a)}	ガス (%) (損失を含む)	3.8	16.8	0.7	0.4	0.2
	油 (%)	96.2	73.2	64.2	96.5	97.5
	油中のモノマー (%) ^{b)}	—	—	48.1	87.3	91.6
	分解残	—	—	35.2	3.2	1.9
生成油の沸点別収率 (%)	～ 100 °C	1.6	12.2			
	100 °C ～ 200 °C	8.1	26.7			
	200 °C ～ 300 °C	11.9	14.2			
	300 °C ～	74.6	28.4			
ガスの成分別収率	メタン	0.0	1.0			
	エタン	0.4	2.0			
	エチレン	0.6	1.2			
	プロパン	0.8	0.4			
	プロピレン	0.9	7.6			
	C ⁴ ^{c)}	0.3	3.0			
	C ⁵ ～ ^{c)}	0.8	1.6			

a) 生成物の収率は原料に対する重量%で示している。

b) 油中のモノマー%の計算は2量体以上のものを除外したものに對する%で示す。

c) パラフィン、オレフィンの合計。

経済的でもあるので、研究や装置の試作はもっぱら熱分解が使われている。

プラスチックはただ加熱すれば分解する。しかし実用化となると簡単ではない。プラスチックは熱の伝達が悪く、熔融するだけでも問題がある。熔融したものが粘度が高いこと、プラスチックの種類によって熔融する温度、粘度が異なること、また分解にあたり有害なガスを生ずることなどの解決すべき問題が山積している。現在研究され、発表されている熱分解装置は大別すると次のようになる。a) 回分式、b) 連続式、の2種のうちb)はさらに次の方式に分けられる。b-1) 流動式、b-2) スクリュー式、b-3) 溶融浴式などである。

5-2-1. 回分式

蒸留ガマに似た分解ガマに入れ、外熱により加熱して熱分解するもので、もっとも簡単な装置である。

5-2-2. 流動式

プラスチックは熱の伝達が悪いので、粉末にして炉内で流動させ、熱の伝達を容易にした方式で、大量処理に適した連続分解処理装置の一種である。流動するに必要な気体には、分解して生成したガスを用いたり、または空気を使うこともある。加熱源には流動媒体として熱砂を用い、砂に炭素質が付着し冷えたものは別の装置で炭素質を燃焼し、砂を再び加熱して循環する。空気を流動ガスとして用いるときはプラスチックの一部を燃焼して

加熱する部分燃焼方式となる。この場合、プラスチック粉末を直接流動炉に導入することは、低融点物質であるため技術的に相当困難である。そこでいったん熔融し、液状としたものを導入する方法も考えられている。

5-2-3. スクリュー式

プラスチックをスクリューにて押出しながら、外部より加熱して分解する方式である。装置は簡単であり、小規模処理に適している。この方法は多少の夾雑物が混合していても使用可能であり、また分解の程度をどのようにも加減できる長所がある。スクリュー炉自体はプラスチックの加工に用いられているので製作上の問題点は少ない。

5-2-4. 溶融浴式

ポリエチレンなど熱可塑性プラスチックを溶融して浴をつくり、そこへ分解すべきプラスチック廃棄物を投入する。浴温を適当に保っておき、投入速度を調節することによって、浴より分解蒸発する量と原料投入量が平衡となる。浴内に残る残留物は別にかきとって別装置にて再分解するか、そのまま廃棄する。この方法はプラスチックに直接高温の浴が接触するので熱の伝達は問題はなく、浴の粘度も浴温の調節によって解決できるという。

5-2-5. その他の分解方法

アタクチックポリプロピレンなどは一種のプラスチックであり、熔融し分解しやすいポリオレフィンであるので特殊な分解法がとられ、実用化されている。これは溶融されたアタクチックポリプロピレンをパイプスチルまたは加熱した分解ガマ中に入れて分解するもので、通常の分解装置より簡単である。

5-2-6. 熱分解における問題点

以上述べた各種の方法を組み合わせた方式⁶⁾や、部分的に改良した方式も発表されている。しかし分解ではポリオレフィンなどの炭化水素系のは大きな問題はないが、ポリ塩化ビニルなど含塩素系樹脂は種々の問題を含んでいる。まず熱分解のとき塩化水素ガスを発生することや安定剤として用いている重金属塩の処理などの難

第1図 スクリュー方式の分解のフローシート⁶⁾

第2図 溶融浴式分解装置⁷⁾

第3図 廃プラスチックオイル化回収プロセス⁸⁾

問をかかえている。脱塩化水素は熱分解（炭素結合の切断）よりも低い温度で行なえるので、前処理によって脱塩化水素だけを行ない^{(9),(10)}、次に熱分解を行なうことができる。重金属は熱分解のとき必ずしも残留物に残るとは限らないので、油分に含まれるおそれもあり、早急な解決策が望まれる。実際には大規模装置にて脱塩化水素反応を完全に行なうことは困難であり、たとえできたとしても生じた塩酸の処置に困ることになる。そこでポリ塩化ビニルは分解原料とせず溶融固化などに回すべきであろうが、現実にはポリ塩化ビニルの選別技術が完成していないため経済的に不可能に近い。

6. 結 言

プラスチック廃棄物処理は以上述べたほか、溶剤処理埋立などがあり、さらに直接処理法とは関係はないが易分解性プラスチックの製造、プラスチックを易分解性に変える薬剤などの研究もある。ただいずれの方法も現在では経済収支がとれないことが、プラスチック廃棄物の処理が遅れている一因にもなっている。今後も廃棄物処理によって製造される物質に価値の高いものは当然望めそうにない。しかし地球を汚さないという意味からも国

や公共団体の事業としてもプラスチック廃棄物問題を真剣に取り上げるべきではなかろうか。

文 献

- 1) 通産省：再生，分解利用，熱回収・新規用途各報告書（1972）
- 2) 山田 衛：産業公害と防止技術，工業技術出版社（1971），p. 303
- 3) B. Bott, *et al.*: *Brit. Polymer J.*, 1, Sept., 203 (1969)
- 4) 椎名直礼：公害防止と廃棄物処理に関する新技術セミナー要旨集，4-1，資源化技術協会（1971）
- 5) 清水征生ほか：公害資源研彙報，2，No. 1, 43 (1972)
- 6) 安藤 宏：資源，No. 181, 31 (1972)
- 7) 滝原 享：塩ビとポリマー，12，No. 6, 28 (1972)
- 8) 山田 衛：プラスチック廃棄処理要覧，プラスチック廃棄処理研究会（1971），p. 251
- 9) 鍋島淑郎，親本俊弥：塩ビとポリマー，12，No. 6, 12 (1972)
- 10) 阿部敏次ほか：公害，7，No. 5, 217 (1972)

「プラスチック工業」に対するコメント

栗 原 四 郎*

安藤氏のプラスチック廃棄物の処理上の問題点は氏の指摘したとおりで、廃プラスチックが都市ごみ処理上に与える影響は大きく、また廃プラスチック単独処理にも多大の問題点を内包している。そこでここでは清掃行政にいかなる問題があるかを考えてみる。まず収集、輸送経費が増加するプラスチックのような見かけ比重の小さい物質の混入は、ごみ容積の増大となり、収集費、輸送費が増加する（収集、輸送費は全処理経費の75%）。次

には埋立処理において耐腐食性のプラスチックは土壌内に蓄積し、不安定な埋立地をつくる。しかし最も大きな問題は焼却処理上におけるもので、これは安藤氏の指摘したとおりで多言を要しない。

都市でごみの中の廃プラスチックが処理上に幾多の問題があることは以上のとおりである。都市ごみ中の廃プラスチックの解決策の第1は、都市ごみよりの分離であろう。いかに優秀なプラスチック処理技術が開発されても、都市ごみよりの分離ができなければ、都市ごみ中のプラスチック問題は解決されない。プラスチック対策としての都市ごみ中の分別収集について、10万世帯、1カ年の実験結果では分別可能な率はわずか30%前後で、いかに分別が困難であるかがわかる。この結果をもって全国的にあてはめることは危険であるが、その地区の住民の自治意識の強弱によると思われる。東京都のごとき巨大都市では特別な行政指導が必要となろう。強制的行政でプラスチック回収率が70%以上をあげている都市もある。

産業廃棄物，都市ごみより分離されたプラスチックに

栗原四郎氏 昭和13年東京農業大学農学部卒業。兵役に服し、昭和18年4月から東京都清掃局勤務。昭和35年4月より東京都清掃研究所所長になり、現在に至る。趣味は野球、つり、旅行。

* Shiro KURIHARA 東京都清掃研究所（東京都葛飾区小菅町 1-1-4）所長