展 望

高分子系廃棄物燃焼炉の問題点

廃棄物の焼却炉の代表は、都市じんかい焼却炉である。最近都市じんかい中にプラスチックが混入し、しだいにその量が多くなってきたため、これらの焼却炉に種々の障害が起きつつある。元来、高分子系のもは、他のゴミとまったく性質が違うので、現在の技術では、これをいっしょにして、完全に焼却しようとするのに問題がある。高分子系の燃焼特性をつかみ、焼却上の問題点を解決することが、この問題解決の重要な要素となるであろう。

織 田 武*

1. 高分子系廃棄物焼却処理の現状

プラスチックは耐薬品性、耐腐食性、耐老化性にすぐれ、電気的特性、成形性がよいなどの材料特性から各種工業材料として広く利用され、日常生活に欠かせないものとなってきた。それに伴い、プラスチック廃棄物が年々増加し、その対策が現在大きな社会的問題となっている。これら高分子系廃棄物は、都市系と産業系に大別されるが、都市系の廃棄物は一般の家庭から排出されるゴミで、年々ゴミ中に含まれるプラスチックの量の増加のため、都市ゴミ焼却炉に種々の障害を起しつつある。一方、産業系の高分子系廃棄物は、比較的分別しやすく、組成も一定であるので処理はしやすいといえよう。処理が技術的に困難とされているのは、前者の都市系の廃棄物で、とくに高分子系が問題になるのは、その燃焼特性が他のセルロース系を主体とした一般ゴミとまったく異なるためである。プラスチックは発熱量が一般ゴミに比べて数倍以上高く、燃焼に際して必要な空気もゴミの数倍必要で、そのうえ燃焼によって有害で腐食性の強いガスを放出するなどの燃焼特性から、元来セルロース系のゴミを対象に設計されている。都市ゴミ焼却炉に対し、種々の障害をもたらす結果となってきている。このような点から、都市系、産業系を問わず、高分子系廃棄物を分別、収集し、それらの専焼処理の必要性がクローズアップしてきている。

高分子系廃棄物の処理方法は、焼却、埋め立て、資源化に大別されている。そのうち、埋め立て処分は用地の確保、水質汚濁などの二次公害の問題などで、年々処分が

困難になりつつある。資源化は従来、単純再生として行なわれてきた以外に、熔融固化による製品化、ガス化、燃料化など次々と新しい試みがなされてきている。しかしながら、ここ 当分は焼却処理が主体となるであろうし、焼却処理は最終的で、最も安全かつ確実な処理といえることができる。

2. プラスチックの燃焼特性

2-1. 燃焼の形態

固体の燃焼は表面燃焼と分解燃焼と蒸発燃焼の三つの形態に大別される。プラスチックの燃焼は主として分解燃焼であり、組成成分の沸点が比較的高いプラスチックの場合、蒸発燃焼は、ほとんどみられない。プラスチックを加熱すると、比較的低分子のガスが発生し、気相による燃焼を行なう。熱により熔融、軟化する大部分の熱可塑性樹脂および、熱によって液化しない多くの熱硬化性樹脂はこの分解燃焼系をとる。床燃焼のように、溶解した液面上に火炎を出して燃焼する、いわゆるプール燃焼もこの分解燃焼である。一方、フェノール、メラミンなどの熱硬化性のもは分解燃焼と同時に、その形状を保ちつつ表面燃焼も進行する。

2-2. 燃焼生成物

一般にプラスチックの熱分解生成物としては、主として低沸点ガス、高沸点ガス、タール分、残留物に大別される。ガスは通常複雑多様で、たとえばポリプロピレンの場合、分解生成物として 16 種類もの炭化水素が認められる。さらに燃焼のように酸素が加わる場合、その酸化物が考えられ、はるかに複雑多様の生成物を生ずることになる。燃焼生成物として問題になるのは、これらの炭化水素が不完全燃焼で分解せずそのまま排ガス中に存在することと塩化水素、シアン化水素などの有害成分、一酸化炭素、スス、および鉛、カドミウムなどの重金属

* Takeshi Oda 株式会社タクマ 環境開発本部技術部 (530 大阪北区堂島中 1-16-1) 次長

第1表 自由燃焼プラスチックと通常の材料の燃焼生成物

自由燃焼

(単位: gr/g)

	ポリスチレン	エチルセルロース	サラン	塩化ビニル	ナイロン	レーヨン	羊毛	生糸	木材	紙
一酸化炭素	0.174	0.440	0.022	0.229	0.304	0.116	0.446	0.634	0.270	0.135
二酸化炭素	2.192	2.294	1.047	0.433	1.226	1.836	1.451	1.352	1.626	1.202
ホスゲン	—	—	—	0.0001	—	—	—	—	—	—
シアン化水素	—	—	—	—	0.0076	—	0.007	0.036	—	—
塩化水素	—	—	0.621	0.496	—	—	trace	—	—	—
アルデヒド類	—	—	—	—	0.0064	—	—	0.0024	trace	—
酸(酢酸など)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.0009
アンモニア	—	—	—	—	0.032	—	—	0.053	—	—
いぶる										
一酸化炭素	0.540	0.172	0.221	0.086	0.355	0.225	0.138	0.141	0.366	0.273
二酸化炭素	1.689	0.202	0.416	0.743	0.907	1.130	0.650	1.033	0.934	1.001
ホスゲン	—	—	—	0.00008	—	—	—	—	—	—
シアン化水素	—	—	—	—	0.0098	—	0.008	0.007	—	—
塩化水素	—	—	0.774	0.473	—	—	trace	—	trace	—
アルデヒド類	0.003	0.012	—	—	0.065	—	—	0.012	trace	trace
酸(酢酸など)	—	—	—	—	—	0.042	—	—	0.009	—
アンモニア	—	—	—	—	0.210	—	0.035	0.308	—	—

(牧 宏: 化学工場, 15, [8], 56)

第2表 プラスチックの燃焼特性

	高発熱量 (kcal/kg)	着火温度 (°C)	燃 焼 状 態
ポリエチレン	11,100	340	着火の時間が早く, 燃焼状態はよい
ポリプロピレン	11,050		燃焼状態は良好
ポリ塩化ビニル	5,060	390	燃焼性は不良, 多量の塩酸ガスを発生する
ポリ塩化ビニリデン		530	塩化ビニルと同じ, 塩酸ガス発生が多い
ポリスチレン	10,170	350	着火時間が短くよく燃える。ススが多い
フェノール	5,850	520~540 (ガラス繊維入り)	燃焼性は悪い。表面燃焼をする
メラミン	4,260	475~500 (同上)	燃焼性は不良, 残留物が残る
尿 素	3,870		燃焼性不良, 表面燃焼を行なう
ポリウレタン	4,450	310 (フォーム)	燃焼性は良好

類である。これらのうち、炭化水素、CO、シアン化水素などは、完全燃焼を行なうことによって除去が比較的容易であるが、塩化水素、重金属などの有害成分は燃焼では、除去は不可能で、特別な排ガス処理が必要となる。

織田 武氏
昭和20年9月大
阪大学工学部卒業。

ススはばいじんの大部分を占めるものであるが、その発生防止は可能であり、そのために種々な形式の焼却炉が開発されてきている。第1表にプラスチックと他の材料の燃焼生成物を示す。

2-3. 熱分解特性

プラスチックは発熱量が高く、焼却時高温になりやすい。実際にはプラスチックの種類により発熱量にかなりの幅があり、そのうえ可塑剤、難燃剤の添加量などの影響で、燃焼性にかなりの相違がある。第2表にプラスチックの燃焼特性を示した。表中の着火温度はプラスチックが熱分解して発生したガスに火がつく温度を示している。

第1図は各種プラスチックの熱分解曲線である。図に

第1図 プラスチックの熱分解曲線

よると、塩化ビニル以外のプラスチックは 300°C 以上で分解が始まり、400~500°C で分解が終了するが、塩化ビニルは 300°C 前後で一度分解による重量減が約半分で終り、さらに 500°C ぐらいから再分解して重量を減少する。塩化ビニル以外のポリエチレン、スチレンなどは、炭化水素ガス発生による単純な分解曲線であるのに対し、塩化ビニルの場合の 300°C 前後での分解は、含有する塩素が塩酸ガスとして脱塩酸反応による分解重量減の曲線であり、500°C 以降で始めて炭化水素ガス発生による分解経過をたどるという特性を示す。このことは塩化ビニルを処理するうえについて考慮すべき重要な特性である。

プラスチックは発熱量が高いため、燃焼に際して多量の空気を必要とする。第2図に各種プラスチックの低発熱量と理論空気量、理論燃焼ガス量の関係を図示した。塩化ビニル、ポリエチレンの理論空気量は、それぞれ 4.3 Nm³/kg、11.4 Nm³/kg であり、実際燃焼にあたっては理論値の 2.5~2.8 倍の過剰空気が必要であるので、燃焼に必要な空気量は、塩化ビニル、ポリエチレンの場合、それぞれ約 11.0 Nm³/kg、約 29.0 Nm³/kg とかなりの量が必要となる。

3. 焼却処理上の問題点

3-1. 高分子系廃棄物の性状

3-1-1. 多種多様性

プラスチックを主とする高分子系廃棄物は、その種類が非常に多く、その種類によって燃焼特性にかなりの差がある。高分子系の中には固体以外に液体のものもあり、燃焼形態が異なるばかりでなく、発熱量の違いから燃焼に要する空気量も変わる。プラスチック廃棄物の場合、それら特性の異なる数種以上の混合物が普通で、とくに一般ゴミから分別収集されるような時には、他の物質も混り、かなり複雑な混合廃棄物となる。一方、プラスチックを分別、選別することは技術的にも困難であるので、焼却炉はこれら種類の多い混合プラスチックを、十分燃焼処理できるものでなければならない。

第2図 プラスチックの低発熱量と理論空気量・燃焼ガス量

第3図 腐食速の管壁温度による変化

3-1-2. 廃棄物の形状

プラスチック廃棄物はその形状がさまざまで、板状、フィルム状、函状、棒状、塊状、粉状、泥状など千変万化であり、大きさも小は食器、電気部品から大は建築材料、車両、船などの材料に至るまでいろいろである。これら複雑な廃棄物を焼却処理するには、破碎などの前処理をして、供給材料の均一化をはかることが望ましい。

3-2. 焼却の問題点

3-2-1. 有害ガスの発生

プラスチック燃焼により発生する有害ガスは主として塩化ビニルが熱分解によって生ずる多量の塩化水素である。不完全燃焼により発生する CO、炭化水素、シアニ化水素およびススもちろん公害のもとになるが、これらは完全燃焼技術によって解決できる。しかしながら、塩化水素は高温でも分解せず、大気中で冷却されて塩酸ミストとなり大きな公害のもとになる。このようなことから、プラスチック公害は塩ビ公害をもって代表されると考えられるくらいである。一方、プラスチック中に含まれている安定剤、顔料として鉛、カドミウムも燃焼によってほとんど大半がガス中に含まれて排出する。これらの重金属類および塩化水素を燃焼ガス中から除去することが必要である。

3-2-2. ガスによる腐食

燃焼ガス中の塩化水素は低温、高温いずれの領域にお

いても金属に対し激しい腐食を起こす。第3図は塩酸、硫酸ガスの腐食速度の管壁温度による変化曲線を示す。塩酸ガスによる金属への腐食は露点以下の低温領域での電気化学的腐食と300°C以上の高温領域における塩化鉄形成および分解に起因する腐食である。この高温領域ではガス相での腐食によるより、金属表面に堆積する灰中の塩化鉄のため図のように大きな腐食性を示す。したがって燃焼ガス中の金属の表面を露点以上から300°Cぐらいまでの間に保つことが腐食の防止策である。

3-2-3. 高温燃焼

プラスチックは発熱量が普通のゴミに比べて数倍も高く、4,000~11,000 kcal/kg ぐらいである。したがって燃焼により炉内は非常に高温となりやすい。プラスチックの場合、完全燃焼の適温は1,000°C以上であるが、炉温が1,200°C以上に上昇するとクリンカーが発生したり、炉材の焼損をきたすとか障害ができるので、炉温のコントロールが必要である。

3-2-4. 黒煙の発生

プラスチックは燃焼に際し多量の空気を必要とするが、この空気と分解発生した可燃性のガスとの接触が十分でなかったり、供給空気量の不足の場合などに不完全燃焼が起こり、黒煙(スス)を発生する。また空気の過剰送入や材料投入時の侵入空気のため炉温が低下し不完全燃焼となることもある。ススの発生防止は初期の燃焼状態で空気の適正な送入とガスとの接触をよくして完全燃焼を行なって防止するか、再燃焼室で不完全燃焼ガスをさらに高温で完全に再燃焼させる方法がよい。

3-2-5. 溶融による障害

熱可塑性の大部分は熱によって溶けたり、軟化したりする。火格子のある炉では、溶けたプラスチックが火格子を閉塞させたり、火格子間を流下して、下で燃え火格子を焼損したりする。このようなことから焼却炉は一般に平床型式を採用することが多い。また、材料の供給口に溶融した材料が閉塞を起こしたり、逆火などのトラブルを起こしやすい。

4. 焼却炉の条件

以上の問題点を解決する理想的な高分子系廃棄物の焼却炉としての条件は

4-1. 連続供給方式であること

炉内での完全燃焼状態を維持するためには、炉温、供給空気量を一定に保ち、発生ガスと空気の接触をよくすることが条件であるが、そのためには供給されるプラスチック材料の発熱量が一定でなければならない。それゆえ材料は自動連続供給方式とし、一定の均質な材料をできるだけ連続供給することが望ましい。性質、形状の異なる廃棄物を破砕処理して粒度と質の均一化をはかることが必要になってくる。

4-2. 完全燃焼方式であること

炉は一般に平床形式で火格子をさけ、燃焼室は主燃焼室と二次燃焼室(再燃焼室)を有し、さらにガス化室、三次燃焼室と多室式にしたものもある。材料を高温ふんい気中でガス分解させ、発生ガスに適正な空気を効果的に接触させて完全燃焼させるので、空気とガスとの十分なカキマゼ、接触がされるような工夫が必要である。主燃焼室で不十分な不安全燃焼ガスを再燃焼室でさらに空気を与え、完全燃焼を完遂させる方式が望ましい。

4-3. 排ガス処理が十分であること

ばいじんや有害ガスはそのまま放出すると大きな公害となるので排ガス処理は十分でなければならないが、問題の塩化水素は水またはアルカリ溶液を使用した湿式ガス洗浄装置によらなければ除去は期待できない。湿式ガス洗浄装置は、吸収塔、充テン塔、多段式、ベンチュリー・スクラバーなど種々の形式のものがある。これらは塩化水素のみならずSO₂、鉛、カドミウムなどの重金属ミストや、ばいじんも除去できるものが多い。除去効率はそれらの装置の段数、水の使用量、気液接触効率によって変わるが、十分二次公害を防止しうる高効率のものを使用する必要がある。さらにこれらの湿式ガス洗浄装置は有害成分である塩酸を多量に含んだ排水を排出する。排水処理は十分なものを具備し、循環再使用するのがよく、一部放流水に対しては、水質汚濁の公害防止のため、中和処理はもちろん、場合によっては重金属の溶解濃度を、規制値を十分満足する水質にすることが肝要である。

4-4. 構造的

炉は普通レンガ積構造とするが、1,100°C以上の高温に十分耐えうる耐火レンガを使用し、炉内での金属構造物はできるだけ避け、使用する場合は金属壁面温度を腐食の少ない200~250°Cぐらいになるように心がける。ボイラーなど、余熱利用のため廃ガス中に設ける場合も管壁温度を適正にして腐食をさける必要がある。

5. プラスチック焼却炉

以上の条件を満足する焼却炉として開発された炉の一例について述べる。第4図はその構造を示す。あらかじめ破砕され、一定粒度に調整されたプラスチックくずはホッパーに投入されると、連続自動供給装置によって一定量ずつ連続的に炉内の高温ふんい気の中へ送り込まれ散布される。炉は始動時、炉温上昇のため助燃バーナーにより加熱されるが、材料の供給とともに助燃はやめ、自然に移る。炉は一次、二次、三次燃焼室から成り、各室は炉壁に設けられた調節可能な多数の空気吹込ノズルを有しており、炉内に必要かつ十分な空気を強力に吹き込み、十分なカキマゼ効果を期している。一次燃焼室へ散布された材料は、空気の十分な供給を得て、短時間にほとんど燃焼を完了するが、二次、三次燃焼室を経過し

第4図 プラスチック廃棄物焼却炉

第3表 塩化ビニル（硬質）焼却テスト成績

(S. 46. 2. 25)

	例 — 1	例 — 2	例 — 3
試料供給量(kg/hr)	60	60	60
重油使用量(l/hr)	0	0	0
第1燃焼室温度(°C)	1,080 ~ 11,00	1,100 ~ 1,140	1,120
第2燃焼室温度(°C)	900 ~ 940	950 ~ 980	980
第3燃焼室温度(°C)	840 ~ 870	880 ~ 900	900
第4燃焼室温度(°C)	670 ~ 730	730 ~ 740	740 ~ 750
煙道内温度(°C)	73 ~ 80	77 ~ 80	74 ~ 77
CO ₂ メータ	3.7 ~ 4.0	4.0 ~ 4.2	4.1 ~ 4.2
CO+H ₂ メータ			

燃焼ガス採取場所	第4燃焼室	排 気 筒	第4燃焼室	排 気 筒	第4燃焼室	排 気 筒
水分量(g/Nm ³)	15.68		11.62		9.18	
塩化水素量(ppm)	27,400	609	30,100	558	29,700	584
窒素酸化物量(ppm)	13	1	9	tr	10	tr
塩化水素除去率(%)		97.8		98.2		98.0

てさらに再燃焼し完全燃焼状態を完遂する。

燃焼排ガス中に、塩ビ焼却による塩化水素を含んでいる場合、ベンチュリー・スクラバーを用いて、水またはアルカリ溶液でガスを洗浄し、燃焼ガス中の塩化水素と同時にばいじんを除去し、ガスは誘引通風機を経て煙突から放出される。ベンチュリー・スクラバーの排水は、水洗浄の場合、塩酸による酸性を呈するので、中和槽に導き、石灰石による中和と沈殿処理ののち、大部分は循環使用し、一部は放流する。

第3表はこの焼却炉を使用して、硬質塩化ビニルだけを焼却処理した時の成績を示す。塩化ビニルは燃焼に際して多量の不燃性の塩化水素ガスを出し、このため、完全燃焼がしにくいとされているが、この炉で助燃料を使用せず自然で十分完全焼却できた。炉内温度は1,100°C前後が適当で、一次燃焼室でほとんど燃焼を終わらせている。塩化ビニル専焼の場合は燃焼ガス中の塩化水素量は

30,000 ppm 前後と非常に高い濃度となった。これをベンチュリー・スクラバーで約 98% の高効率で除去できても、残留塩化水素濃度は550~600 ppm あり、煙突排出濃度を数十 ppm 以下にするためには2段式のベンチュリー・スクラバーを使用しなければならない。

このようにプラスチック焼却の問題は、塩化ビニル燃焼の問題と考えてよく、塩ビの処理上の問題点の解決がより安全、確実なプラスチックの処理といえる。塩ビの害のもとである塩化水素をうまく料理することが、この問題の最も重要な要素になってくる。

このことから、塩ビを含むプラスチックを低温乾留で脱塩酸処理し、塩酸を出しつくした残留物を焼却処理し塩酸ガスは塩酸として回収する方法や、ポリ浴中でプラスチックを乾留、ガス化させ、ガス中の塩酸を回収除去する方法など、いろいろな新しい処理技術が確立されてきている。