

報告

模擬ごみを用いた燃焼実験排ガスの変異原性

吉野秀吉
(環境工学部)

Note

Mutagenic Activities of Exhaust Gas from Experimental Incineration of Artificial Wastes

Hidekichi YOSHINO
(Environmental Engineering Division)

キーワード：模擬ごみ焼却，燃焼実験，焼却排ガス，変異原性

1. はじめに

都市ごみとよばれるものの中には、紙やプラスチック類、木・竹類、厨芥など、可燃性のものとガラス瓶や缶類など、不燃性のものおよび家電製品や家具、自転車などの粗大ごみがある。現在、可燃性ごみのほとんどは、市町村の施設で焼却処理されている。焼却されて排出する灰や排ガスには多種類の化学物質が含まれ¹⁾、変異原性も認められ、変異原性物質についても明らかになってきた^{2), 3), 4), 5)}。

しかし、今までの研究では、変異原性の生成要因については調べていなかった。本研究では、7種の模擬ごみとそれらを都市ごみ組成に近くなるように混合した混合模擬ごみを室内で条件を変えて燃焼させた場合の排ガスの変異原性を調べ、ごみ質や燃焼条件が排ガスの変異原性に与える影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 模擬ごみ燃焼実験排ガスの採取と試料調整

模擬ごみの燃焼ガスの採取は、容量250mlのガス冷却瓶と5mlのガラスウールカラムから構成された採取装置により捕集した⁶⁾。なお、燃焼排ガスを完全に捕集するため5分間の燃焼が完了したとおもわれた後も約2分間は排ガス採取を続けた。

ガス冷却瓶やガラスウールに捕集された変異原性物質は、酢酸エチル約40mlで抽出し、抽出液を硫酸ナトリウムで脱水した後、30℃においてエバポレータにより濃縮した⁶⁾。窒素ガスパージにより酢酸エチルを完全に蒸発させた後、ジメチルスルホキシド (DMSO) 2～5mlに再溶解して、Ames変異原性試験に用いた。

2.2 模擬ごみ燃焼実験

2.2.1 試料

模擬ごみは、都市ごみの主成分である紙類、プラスチック類、布類、木・竹類、厨芥を、都市ごみとして排出される可能性の高いコピー用紙、ポリエチレン (PE) 製袋、ポリスチレン (PS) 製発泡スチロール、塩化ビニリデン製ラップフィルム、木綿タオル、庭木の葉と小枝、緑葉野菜で代用した。各模擬ごみは、約60℃で2週間乾燥して十分に水分を蒸発させた後、約5mm以下に破碎した。混合模擬ごみは、これらを表1に示したような都市ごみに近い組成比に混合して調整した。

表1 模擬ごみの組成割合

模擬ごみ	組成割合(%-dry)
PE製袋	18
PS製発泡スチロール	9
塩ビラップフィルム	3
コピー用紙	30
木綿タオル	10
庭木の葉と小枝	10
緑葉野菜	20

2.2.2 燃焼実験装置

燃焼実験装置は、図1に示したように、内径56mm、長さ1250mmの石英ガラス製燃焼管をヒーターで加熱・保温したもので、一定温度域はヒーター内側の約600mmである。試料は、石英ガラス製のポートに入れて秤量した後、設定温度範囲のガス入り口側に置き、バッグに入れたガスをダイヤフラムポンプで約7分間、一定流速で吸引し、排ガスを捕集した。

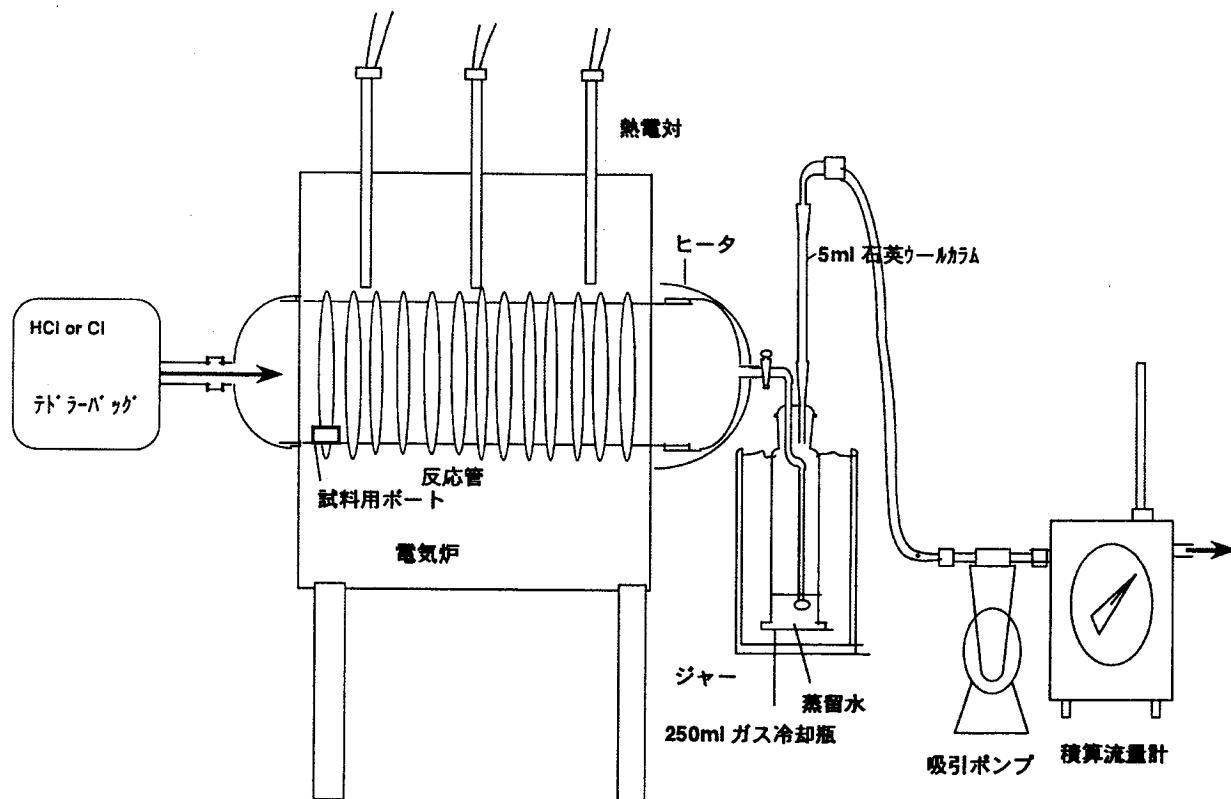


図1 模擬ごみの燃焼実験装置

2.2.3 燃焼条件

各模擬ごみの燃焼では0.1g、混合模擬ごみ燃焼では0.1gまたは0.2gの試料を用いた。

各模擬ごみは、燃焼温度800℃で燃焼させ、このときのガス吸引速度は標準状態に換算して2ℓN/minとした。この時の酸素量は約0.6g/minで、1分間にごみ重量の約3～6倍の重量の酸素を供給していることになる。

混合模擬ごみは、以下に示すように燃焼条件を変えて実験を行った。すなわち、反応管内温度は、一般に実施設で設定されている800℃を中心に、600℃、900℃とし、ガス吸引速度は、2ℓN/minの一定とした。各温度での炉内滞留時間は、燃焼管の設定温度域の容積が1.5ℓなので600℃のとき約14秒、800℃のとき約11秒、900℃のとき約10秒となった。実施設での滞留時間が800～900℃で2～10秒³⁾であるので、この実験条件は実施設の滞留時間の長い場合に相当する。

次に、燃焼温度を800℃で一定にして吸引速度を1、2、3ℓN/minとした。このときの燃焼管内滞留時間は、上記の2ℓN/minの場合に比べて1ℓN/minのときは2倍、3ℓN/minのときは3分の2倍となる。

最後に燃焼温度を800℃吸引速度を2ℓN/minで一定に保ち、試料量を0.1gまたは0.2gにして燃焼用空気に等量の酸素を加えた酸素濃度約60%のガスで燃焼実験を

行った。このときの試料1gあたりの酸素供給量は、0.1gの試料を800℃、2ℓN/minの空气中で燃焼したときに比べて、試料が0.1gのときには約3倍、0.2gのときには約1.5倍となる。

2.3 Ames変異原性試験

Ames変異原性試験は、労働省化学物質調査課による「安衛法における変異原性試験」⁷⁾を参考にして行った。試験菌株には、サルモネラ菌のTA98株とTA100株を用い、それぞれ代謝活性化剤（オリエンタル酵母社製、フェノバルビタール感作のマウス肝臓ホモジネート）とコファクターの混合物をS9 mixとして10%加えた(+S9)場合および加えない(-S9)場合についてプレート法で試験を行った。陽性対照には、-S9の場合には4-ニトロキノリン-1-オキシド(4NQO)を用い、+S9の場合には2-アミノアントラセン(2AA)を用いた。また、陰性対照にはDMSOを用いた。

変異原性は、捕集したガスの全量の自然復帰コロニー数を測定し、乾燥ごみ質量あたりに換算して、陰性対照での自然復帰コロニー数を差し引いた正味復帰コロニー数で表した。また、試料の復帰コロニー数が陰性対照の値の2.0倍以下の場合には不検出(N.D.)とした。

3. 結果及び考察

3.1 各模擬ごみの燃焼実験排ガス

各模擬ごみを800℃、ガス滞留時間12秒の一定条件下で燃焼実験した場合の燃焼排ガスの変異原性を表2に示す。ポリエチレン製袋やポリスチレン製発泡スチロールの場合に、燃焼ガスの変異原性が高く、木綿タオルの場合にも低い変異原性が認められたが、庭木の葉と小枝、コピー用紙、塩化ビニリデン製ラップフィルムや緑葉野菜の場合には変異原性が認められなかった。これは、ポリエチレン製袋やポリスチレン製発泡スチロールは、溶融して固まりになり、木綿タオルや紙、植物に比べて完全燃焼しにくく、塩化ビニリデン製ラップフィルムは熱分解しやすい性質をもつためと考えられた。また、ポリエチレン製袋やポリスチレン製発

泡スチロールの変異原性は、直接変異原性(-S9)に比べて間接変異原性(+S9)が高い傾向があった。この傾向は、実施設での排ガスの変異原性に類似していた。しかし、フレイムシフト型(TA98)より塩基置換型(TA10)の変異原性が高くなったことは実施設の場合と逆の傾向であった。すなわち、これらが混合したごみの燃焼では、フレイムシフト型の変異原性物質の生成が増加することが推定された。

3.2 混合模擬ごみの燃焼実験排ガス

混合模擬ごみを温度を変えて燃焼した実験の結果を表3に示す。変異原性は、600℃で最も低く、ついで900℃が低く、800℃で最も高くなった。これは、温度が低いとガスの滞留時間が長くなる一方で、温度が高

表2 各模擬ごみの燃焼実験排ガスの変異原性

	TA98 (10 ³ net rev./g-dry waste)		TA100 (10 ³ net rev./g-dry waste)	
	-S9	+S9	-S9	+S9
PE製袋	55	459	193	1080
PS製発泡スチロール	47	353	225	1250
塩ビラップフィルム	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
コピー用紙	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
木綿タオル	17	12	44	39
庭木の葉と小枝	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
緑葉野菜	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

燃焼条件：反応管内温度 800℃、ガス反応管内滞留時間 12秒、N.D.：MR値が2.0以下の場合

表3 混合模擬ごみの燃焼条件による変異原性の違い

	TA98 (10 ³ net rev./g-dry waste)		TA100 (10 ³ net rev./g-dry waste)	
	-S9	+S9	-S9	+S9
温度(℃)				
600	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
800	176	44	324	136
900	79	55	121	135
燃焼条件：空気燃焼、吸引速度2L/min、試料量0.1g				
吸引速度(L/min)				
1	100	35	177	100
2	176	44	324	136
3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
燃焼条件：空気燃焼、燃焼温度800℃、試料量0.1g				
燃焼ガス				
空気燃焼	176	44	324	136
空気+酸素燃焼*	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
燃焼条件：燃焼温度800℃、吸引速度2L/min、試料量0.1g				
燃焼ガス				
空気燃焼	58	244	120	412
空気+酸素燃焼*	79	100	173	173
燃焼条件：燃焼温度800℃、吸引速度2L/min、試料量0.2g				

*：空気/酸素=1/1 (V/V)、N.D.：MR値が2.0以下の場合

いと変異原性物質、とくに直接変異原性物質が分解するためと考えられる。実施設では、燃焼温度によって変異原性はあまり変わらないとされている³⁾が、これは、800～900℃の範囲で焼却されているためと考えられ、実施設で直接変異原性が間接変異原性に比べて低くなることも本実験の結果と一致している。

次にガスの吸引速度を1、2、3 L/minと変化させた場合をみると、3 L/minで最も低く、ついで1 L/minとなり、2 L/minで最も高くなった。これは、吸引速度が小さいほどガスの滞留時間が長くなる一方で、吸引速度が大きいほど酸素供給が過剰になり、完全燃焼しやすくなるためと考えられる。0.1gの混合模擬ごみ燃焼排ガスを1 L/minで吸引した場合の単位ごみ量あたりの酸素供給量は、0.2g混合模擬ごみ燃焼ガスを2 L/minで吸引した場合とほぼ同じとなることから、変異原性もほぼ同じになることが予想されたが、滞留時間の影響もあり、変異原性は異なっていた。

そこで0.1gで最も変異原性の高くなった800℃、2 L/minで、空気に同量の酸素を加えて燃焼実験を行ったところ、変異原性は認められなくなった。しかし、酸素を加えて試料量を2倍にしてみたところ、空気の場合に比べて間接変異原性は低くなったものの直接変異原性がむしろ高くなった。

以上のことから、ごみ量と酸素量およびガス滞留時間のバランスが変異原性物質の生成に複雑に影響することが示された。これは、実施設において、焼却温度や供給空気量を一定に保っていても、投入ごみの重量や質の変動によって変異原性が変動すること、とくに流動床式焼却の場合にこのような変動が大きく表れること³⁾と一致している。

混合模擬ごみの燃焼実験では、個別の模擬ごみの燃焼実験の場合とは逆に直接変異原性が間接変異原性に比べて高くなった。また、フレームシフト型の変異原性が塩基置換型の変異原性に比べて低くなり、実施設とはことなっていた。これらの原因については不明であるが、模擬ごみにはあまり水分がふくまれていないことや室内燃焼実験では小さな少量のごみを短時間に燃焼させていることが実施設とは異なっている。

また、空気中の酸素濃度が高くなると直接変異原性は高くなり、間接変異原性は低くなる傾向を示した。これは酸素濃度によって生成する変異原性物質が変化することを示している。

一方、変異原性が認められなかったのは、試料0.1g、燃焼温度600℃、空気吸引速度2 L/minの場合、試料0.1g、燃焼温度800℃、空気と酸素の等量混合で吸引速度2 L/min、および試料0.1g、燃焼温度800℃、空気吸引速度3 L/minの場合であり、いずれも滞留時間が酸素濃度が十分な場合であった。

以上の結果から、滞留時間が酸素濃度を十分にすると完全燃焼すれば、変異原性物質の生成は抑制されることが確認された。しかし、これらが不十分な場合には、変異原性物質が生成し、その生成量や種類は、ごみ量、酸素量、およびガス滞留時間の微妙なバランスによって変化することが明らかとなった。

4. 結論

模擬ごみの燃焼実験では、プラスチック類の焼却によって変異原性物質が生成されやすいことが明らかとなった。また、生成する変異原性物質は、ごみ量と供給酸素量およびガス滞留時間のバランスによって複雑に変化することが示された。さらに、変異原性物質は十分な酸素とガス滞留時間がある場合、および燃焼温度が高い場合には生成しなかった。したがって、実施設での排ガスの変異原性は、採取時によって変動することが推定されたが、混入するプラスチック類を分別して減らすか、またはプラスチック類の混入を考慮して完全燃焼状態を保つことで変異原性物質の生成を抑制できることが確認された。

参考文献

- 1) D. J. Lisk: Sci. Total Environ., **74**, 39-66 (1988).
- 2) H. Yoshino and K. Urano: Toxicol. Environ. Chem., **57**, 123-136 (1996).
- 3) H. Yoshino and K. Urano: Sci. Total Environ., **162**, 23-30 (1995).
- 4) H. Yoshino and K. Urano: Toxicol. Environ. Chem., **63**, 233-246 (1997).
- 5) A. Kamiya and Y. Ose: Sci. Total Environ., **61**, 37-49 (1987).
- 6) 吉野秀吉, 浦野紘平: 大気汚染学会誌, **29**, 245-253 (1994).
- 7) 労働省化学物質調査課: 安衛法における変異原性試験, 中央労働災害防止協会, (1991).