

火災時に発生する燃焼生成ガスの毒性実験について (第2報)

Experiment on the Toxicity of Fire Gases (Series 2)

櫻 井 和 敏*
 清 水 栄 信*
 中 屋 敷 知 博*
 平 沢 正 己**
 古 河 大 直***

We tried to develop the toxicity of fire gases by carrying out some fire experiments. As a result, we obtain the some facts, and discussed a part of the reserches in a first report. And now, we confirm that the generation of fire gases is subject to the rate of burning. Particularly, Carbon dioxide and Hydrogem cyanide have a strong effect by this factor.

1. はじめに

火災における燃焼生成ガスの実態及びその毒性について把握するため、当庁管内で発生した死者を伴った火災事例を調査収集し、それらの火災状況を再現することにより、煙・ガス等の危険性について検証を加えている。そして昨年もその結果の一部について報告したところであるが、今回は火源の違いによる燃焼速度に着目し無炎火災事例と有炎火災事例、それぞれの代表例をとり上げ、再現火災実験等を行い検討したのでその結果について報告する。

2. 実験内容

(1) 再現火災実験

鋼材及び珪酸カルシウム板等で写真1に示すような模擬ハウスを作成し、表1に示す火災事例の状況を再現することにより、燃焼生成ガスの発生等が人命にどのように影響を及ぼすかを把握した。(以下、無炎火災事例の再現を「実験1」、有炎火災事例の再現を「実験2」とする。)

なお出火室の条件として模擬ハウスの換気回数を実験1にあっては1.0回/hr(防火造程

表1 火 災 事 例

事例 番号	日 時	既 要			主 要 燃 焼 物		
		出火建物	焼損程度	出 火 室		原 因 等	材 質
1	62年3月21日 5:26	防火造 2/0 長屋共同 住宅	ぼや 布団2, 毛 布1, 靴, 襪, 衣類各 若干	1. 2階居室 2. 9.9㎡ 3. 23.8㎡ (6畳)	覆たばこの火が布団に着火し男性(40) 1名が燃焼生成ガスの中毒により死 亡した。	綿, ポリエス テルの混紡 ポリエステル アクリル	2520g 2220g 800g
2	62年2月2日 17:13	耐火造 2/0 長屋住宅	部分焼7m 他にベッド 1, 布団2, 毛布1	1. 2階寝室 2. 6.9㎡ 3. 16.5㎡ (4.5畳)	電気ストーブが火源となりベッド等 が燃え仮眠中の男性(50)1名が燃焼生 成ガスの中毒により死亡した。なお この男性は階段の降り口で発見され ており、出火室の戸は閉であった。	綿 ラバーホーム ポリウレタン アクリル	5200g 3000g 1000g 320g

注：出火室欄における内容は 1. 部屋の用途 2. 面積 3. 容積の順で示した。

度), 実験 2 にとっては 0.3 回/hr(耐火造程度) に調整した。(写真 1, 2, 3 参照)



写真 1 模擬ハウスの状況

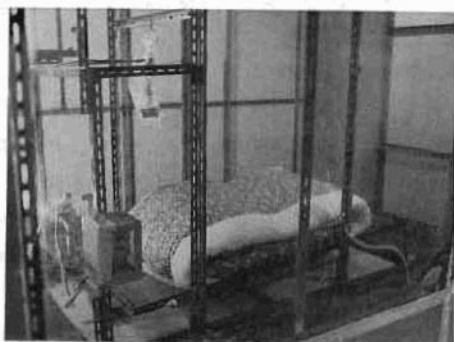


写真 2 実験前の状況 (実験 1)



写真 3 実験前の状況 (実験 2)

(2) 比較火災実験

火災による燃焼は様々な要因に支配され、発生する煙・ガスの濃度も大きく異なることは、既往の火災実験でも確認されており、また我々の行っている一連の実験においてもその傾向が顕著に見受けられた。従って(1)における再現火災実験(実験 1)を基にして表 2 に示すような換気、火源、燃焼素材等の燃焼条件を 1 つずつ変え燃焼実験(実験 I~IV)を行い、燃焼生成ガスがどのように変化するか検証した。

表 2 実験条件

実験番号	燃 焼 物	火 源	換気条件
1	ポリエステル 2220g ポリエステル と綿の混紡 2520g アクリル 800g	たばこ	1.0回/hr
2	〃	〃	0.4回/hr
3	〃	電 熱	1.0回/hr
4	綿 4740g アクリル 800g	たばこ	〃

注: 〇内は条件を変えた部分を示す。

2. 測定項目

各実験において表 3 に示す項目について実施した。なお測定方法及び測定位置についても同表に示す。

表 3 測定項目

測定項目	測 定 方 法	測 定 位 置
ガス濃度	CO, CO ₂ ガス及び O ₂ 濃度はガス分析計により連続測定。HCN ガス及び陰イオン系ガスは、NaOH 水溶液に 5 分毎に吸収させ高速液体クロマトグラフにより分析。またアクロレインについてもガスクロマトグラフにより分析した。	CO, CO ₂ ガス及び O ₂ 濃度については部屋の 上, 中, 下層の 3 点そして HCN ガス等については中, 下層の 2 点を測定した。
煙 濃 度	光路長を 50cm とした煙濃度計 (CdS セル) により連続測定した。	部屋の上, 中, 下層の 3 点を測定した。
温 度	プロコスデジタル記録計 (CA 熱電対) により連続測定した。	部屋の上, 中, 下層及び外気の 4 点を測定した。
湿 度	デジタル湿度計により連続測定した。	
燃焼速度	燃焼物の重量変化を変換器により連続測定した。	

注: 部屋の上, 中, 下層とは床面から 2.1m, 1.2m, 0.3m の高さをいう。なお天井までの高さは 2.4 m である。

4. 結果及び考察

(1) 実験1(無炎火災事例)

ア 燃焼状況

燃焼速度は図1に示すとおり非常に緩慢な速度で終始した。燃焼が終息するまで約270分を要した。そして燃焼物重量の約1/2である2710gが残渣として残り、特にポリエステル製の掛け布団は約700gが焼け残った。このことは燃焼素材の主体が合成系のポリエステル製の為、タバコのような小火源では急激な燃焼には移行しなかったものと推定される。(写真4, 5)

イ ガス濃度の状況

部屋の下層部分のCO、CO₂、O₂及びHCN濃度変化については図2に示す通りである。

CO濃度は0.1%台に達するまでに70分を要し、その後も非常にゆっくりと上昇し約190分で最高濃度の0.48%に達した。しかし30分暴露で死亡に至ると言われているCO濃度の0.3%には約130分で到達し、その後もその濃度を継続した。

CO₂についてはCO濃度変化とほぼ同様の傾向を示し、実験開始後約230分で最高濃度1.36%に達し、またO₂濃度についても実験開始後約200分過ぎから19%台に下がったが、どちらも人体に影響する濃度には至らなかった。

次にHCNについては実験開始後180分で26ppmに達したが、身体に強く影響する濃度には至らなかった。これはアクリル繊維の燃焼によるものであるが、既往のアクリル繊維の燃焼実験におけるHCN濃度をかなり下まわっている。なおSO₂等陰イオン系のガス及びアクロレインについては検出されなかった。

ウ その他の測定項目

煙濃度は図3に示すとおり緩やかに濃度上昇し、実験開始後約210分でピークを迎えたが、減光係数は1.0未満であり各層においても大きな差は認められなかった。

温度についても図4に示すとおり各層の変化において差のない状態で終始し最高温

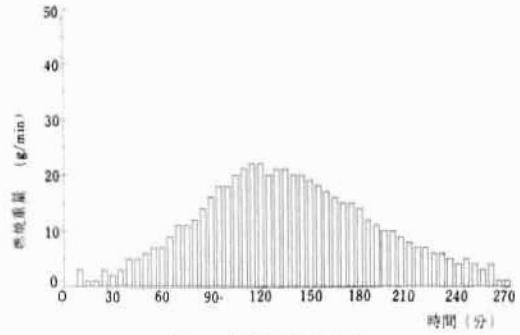


図1 燃焼速度変化



写真4 実験中の状況



写真5 実験終了後の状況

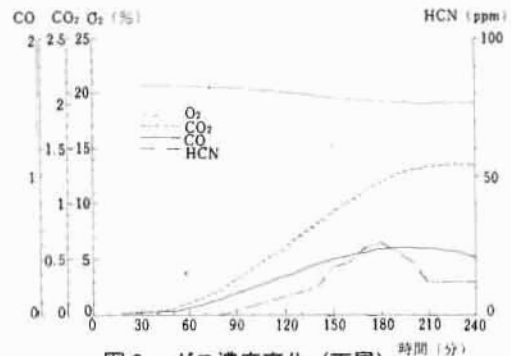


図2 ガス濃度変化(下層)

度も38.5°Cで人体に大きく影響する温度には至らなかった。

湿度は75~80%まで上昇したものの特筆するような変化は見られなかった。

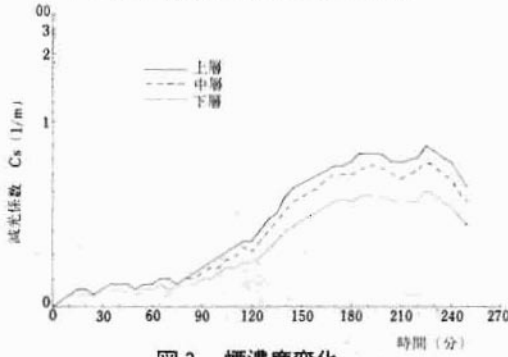


図3 煙濃度変化

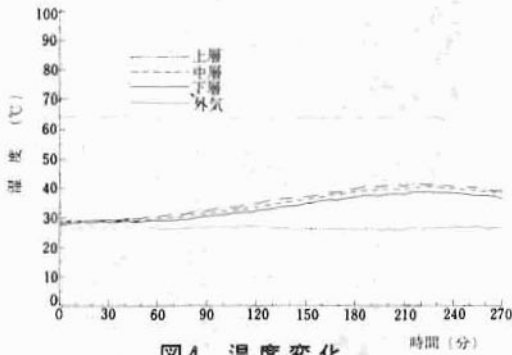


図4 温度変化

(2) 実験2 (有炎火災事例)

ア 燃焼状況

火源がタバコから電気ストーブに変わった為、実験開始後約10分で有炎燃焼に移行した。そして同時点で燃焼速度が急激に上昇し、約20分で最高の200g/分を示した。しかし、その後は急激に燃焼速度が低下し、実験開始から約200分で燃焼が終息している。なお燃焼残渣は2050gであった。(図5, 写真6, 7)

イ ガス濃度の状況

ベッド上(部屋の下層部分)におけるCO, CO₂, O₂及びHCN濃度変化については図6に示すとおりであり、いずれのガスも有炎燃焼に移行した直後から濃度変化が始まり、人体に強く影響を与えるような急激な濃度上昇及び酸欠状態を示した。

COにあつては発炎後約8分で短時間致死濃度である1.3%に到達しその後もゆっ

くりと上昇を続け、発炎後約50分で最高の1.5%に達した。

CO₂はCOよりも更に急激な濃度上昇を示し、発炎後約35分で最高濃度7.4%(主な症状は眩暈、昏睡)に達し以後も6~7%台の濃度を継続した。

O₂については発炎とほぼ同時に急激な濃度低下となり、35分で11.8%(主な症状はチアノーゼ、全身脱力)の酸欠状態を示した。そして以後11~13%台の濃度で終始した。

ウ その他の測定項目

煙濃度は発炎後5分で全く見通しのきかない状態となり、その状態が1時間以上継続した。(図7)

温度変化は図8に示すとうりである。部屋の各層において、発炎から2分後に191°C(上昇), 153°C(中層), 92°C(下層)と最高温度において大きな違いを示したが、その後は急激に低下し60°C前後で終始した。

湿度は発炎後約15分で90%近くまで上昇したが、その後は徐々に低下し40%前後に落ち着いた。

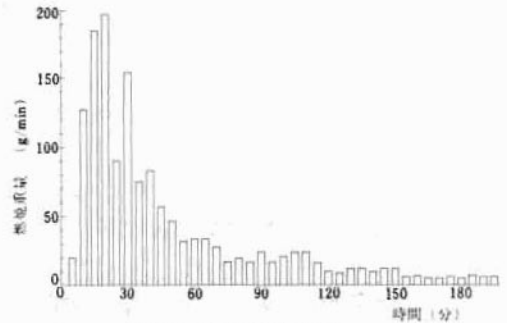


図5 燃焼速度変化



写真6 実験中の状況



写真7 実験終了後の状況

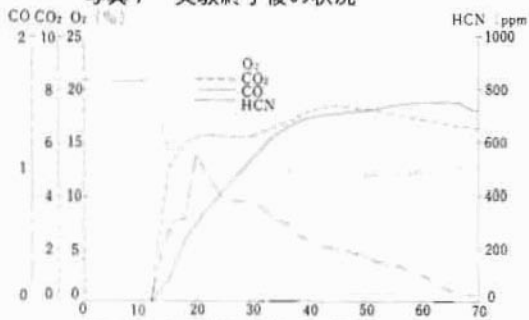


図6 ガス濃度変化 (下層)

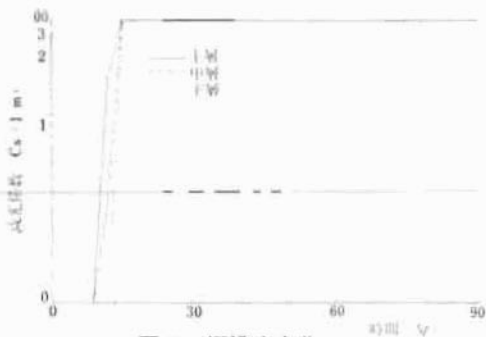


図7 煙濃度変化

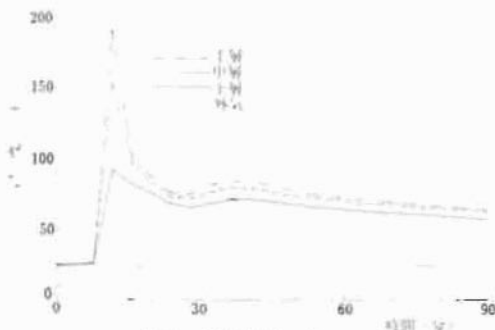


図8 温度変化

(3) 比較火災実験 (実験 I ~ IV)

実験結果を要約したものを表4に、また各実験における燃焼速度の状況及びガス濃度の変化についてそれぞれ図9, 10に示した。以下各項について述べる。

ア 燃焼状況

実験 I と他の実験の燃焼状況を比較すると実験 I 及び II については燃焼素材と火源が同じであることから、ほぼ同様の緩慢な燃焼傾向を示した。しかし火源を変えた(タバコから電熱) 実験 III, そして燃焼素材の一部をかえた(ポリエステル系の合成素材から天然素材の綿) 実験 IV での燃焼速度 (Max 値) は大きな違いを生じた。

イ ガス濃度の状況

まず換気条件の違いによる影響は、実験 I と II の比較において CO は 0.51% から 0.57%、そして CO₂ については 1.41% から 1.58% と僅かながら差が生じた。しかし O₂ 及び HCN については換気の違いによる濃度差が生じなかった。

次に火源の違いによる影響であるが、実験 I のタバコと実験 III の電熱火源を比較してみると実験 III の方が CO₂ は 4 倍以上、そして HCN は 3 倍以上の濃度上昇を示し、O₂ においてもかなりの濃度低下を示した。しかし CO については極端な濃度の違いは生じず、むしろ CO₂ や HCN とは逆に若干の濃度低下を示した。このことは、燃焼形態が無炎燃焼から有炎燃焼に変わり、それに伴い燃焼速度が著しく違った為と考えられる。

最後に実験 I と IV の燃焼素材の違いによるガス濃度を比較すると、実験 III ほど顕著な差ではないものの、ほぼ同様の傾向を示した。O₂ については大きな濃度低下はなかったが CO₂ 及び HCN 濃度は実験 I に比べ 2 倍前後の濃度上昇、そして CO については濃度低下を示した。なお CO 濃度については素材の特性による影響も考えられるが、何れにしても合成系のポリエステルから天然系の綿に変えたことにより燃焼速度が早まりこのような結果に至ったものと推定される。

表4 実験結果

実験番号	燃焼状況	室内のガス濃度				煙濃度 Cs (1/m) max	外気との 温度差 (°C)
		CO max. %	CO ₂ max. %	O ₂ min. %	HCN max. ppm		
I	1. 無炎燃焼 2. 22g/分 3. 270分 4. 2710g	0.51 (190)	1.41 (230)	19.0 (200)	31 (180)	0.6 (190)	13.8 (195)
II	1. 無炎燃焼 2. 25g/分 3. 250分 4. 2850g	0.57 (200)	1.58 (215)	18.9 (220)	29 (165)	0.5 (190)	12.6 (170)
III	1. 有炎燃焼 2. 232g/分 3. 115分 4. 1050g	0.40 (70)	5.38 (30)	15.0 (30)	106 (55)	4.6 (50)	61.0 (30)
IV	1. 一分有炎燃焼 2. 134g/分 3. 175分 4. 500g	0.37 (110)	2.36 (115)	18.5 (115)	69 (110)	1.4 (120)	48.7 (115)

注：1. 測定データは全て部屋の中層部分のものである。
 2. 燃焼状況欄における内容は 1.燃焼形態 2.燃焼速度(max) 3. 燃焼時間 4.残量を示す。
 3. 表中の () 内は実験開始からの経過時間を示す。

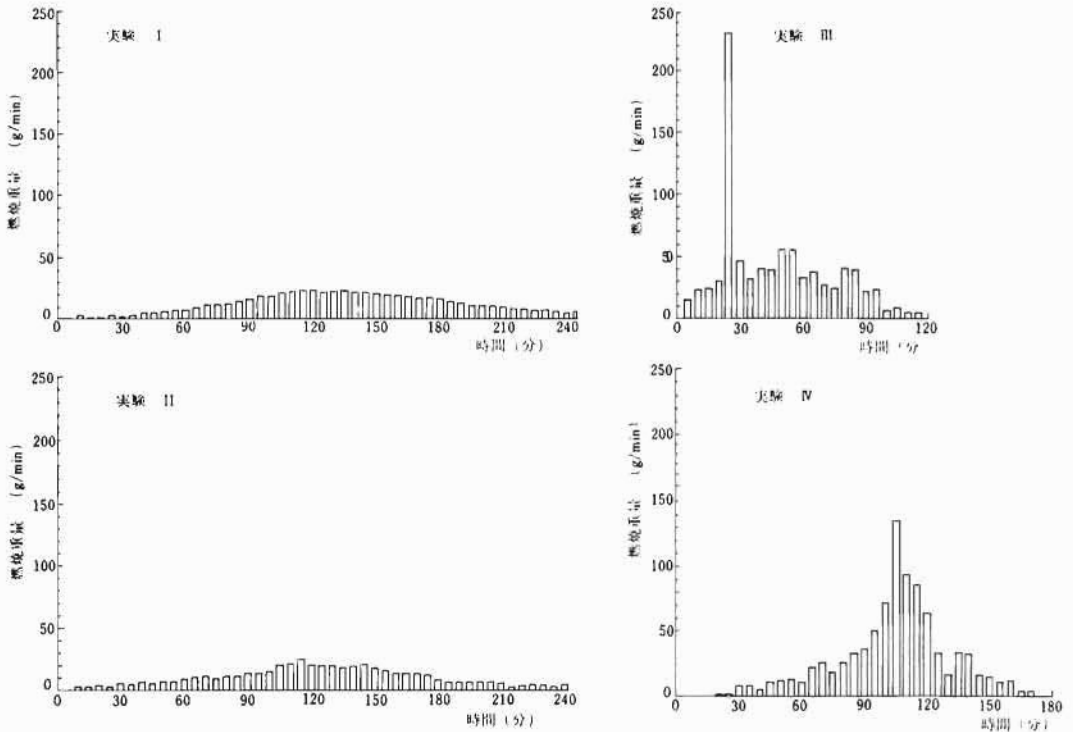


図9 燃焼速度変化 (実験 I ~ IV)

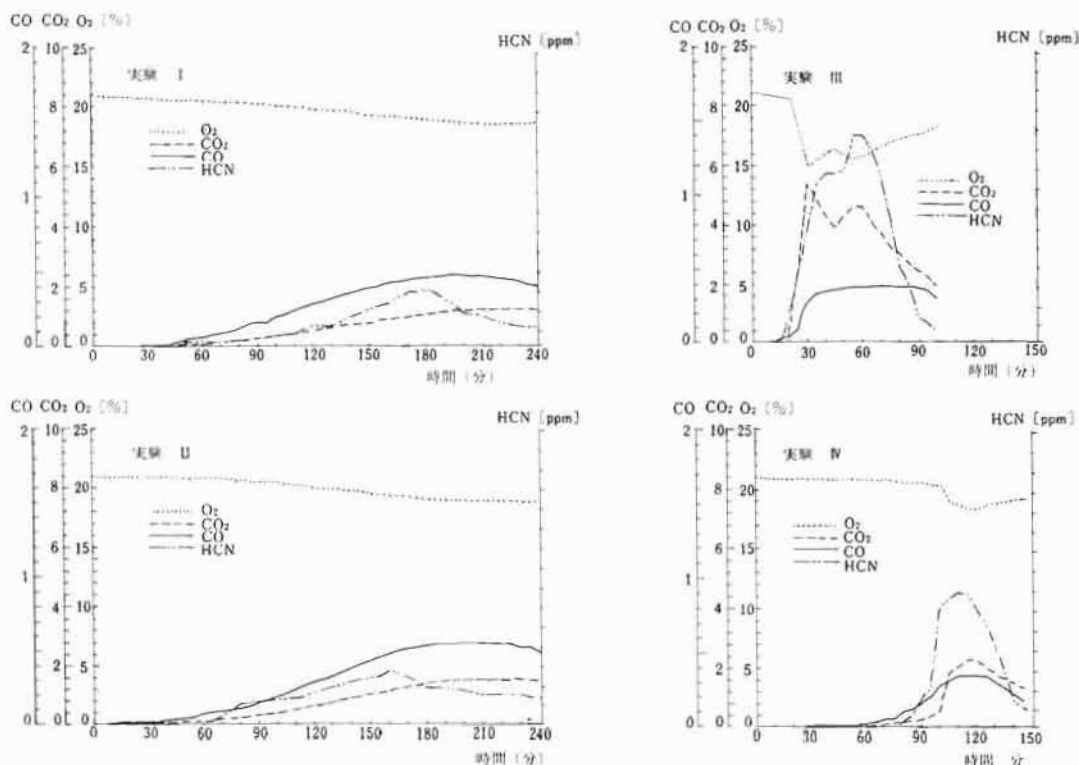


図10 ガス濃度変化 (実験 I ~ IV)

5. まとめ

- (1) 実験1の結果から CO は死に至るに十分な濃度上昇を示しており、当該事例の直接の死因は CO 中毒であったと推定される。

一方 CO₂ 及び O₂ については身体に影響を与える濃度には至らず、また HCN についても素材の燃焼量から推定した濃度より遥かに低い発生量であった。しかし HCN は CO と同様化学的窒息ガスである為、人体への整理作用が同じであり相加的な作用は十分考えられ、当該事例においてもかなりの影響があったものと推定される。

- (2) 実験 2 においては実験開始後約10分で急激な燃焼に移行し、それに伴い燃焼生成ガス濃度も急激な上昇を示した。

とりわけ HCN は発炎後 5 分で、また CO は 20 分で短時間致死濃度に達している。そして本火災事例において死者は出火室の外で発見されていることから、この男性は火災発生後、かなり早い時期に避難したものと推定さ

れ、この 2 点を考え合わせると早期に致死濃度に達した HCN の影響が最も大きかったのではないかと推定される。

- (3) 比較実験の結果から燃焼生成ガスの発生は燃焼速度が一要因となり、大きな影響を与えていることが確認された。そして換気による影響は燃焼速度に比べると非常に小さなものであった。

特に毒性の強い HCN 及び CO に注目すると、HCN は燃焼速度変化の影響を敏感に受け、各実験において大きな濃度の違いを示した。そしてガスの特徴として HCN は発生のピークを過ぎると急激な減衰状態を示しており、この現象は換気だけの原因とは考えられず、何んらかのマイナス要因が介在しているものと推定される。

一方 CO は発生の Max 値において何れの実験でも大きな差は生じなかった。

以上のことから燃焼の条件次第では、燃焼生成ガスによる中毒の原因として CO の他に HCN が大きな要因になり得るものと推定さ

れる。

6. 参考文献

- (1) 東京消防庁消防科学研究所：“火と煙有毒ガス”東京法令出版
- (2) 自治省消防庁予防課：“火災燃焼生成物の毒性”新日本法規出版
- (3) 財団法人日本防災協会：“火災における燃焼生成物の毒性に関する調査研究報告書”1987年2月
- (4) 英 一太著：“プラスチックの燃焼化”日刊工業新聞社