

住宅用内装材料の燃焼性に関する研究

井上 民子*, 渡辺 正敏**, 江口 真*

概 要

近年、シックスクールやシックハウスと呼ばれる、建物内部に関連した新たな健康被害の報告が増加している。その対策として、2003年7月1日施行の建築基準法の改正では、シックハウスの原因物質とされるクロルピリホスとホルムアルデヒドについての規制が新たに加えられた。主な規制内容は、住宅の内装材料がクロルピリホスを含まないことと、内装材料はホルムアルデヒドの放散量毎に使用面積に制限が定められたことである。

このことから、関係業者は、これまで流通していた住宅用内装材料の新基準適合性の強調に加えて、新たな材質などの開発を進めている。

ところで、火災で発生する死傷者は、住宅火災による割合が多い。建築物の耐火性能が向上し、火災の規模は小さくなる傾向にあるが、火災の規模に関らず死傷者が発生することは、その原因が、炎や熱が人体に直接の影響を及ぼすことに加えて、燃焼に伴って発生する気体や煙が影響を及ぼしていることにあることを示している。

そこで、住宅火災で延焼経路となる、壁、天井、床について、シックハウス症候群に焦点を当てて流通されている内装材料を実際の施工状態で燃焼性状と発生する気体や煙についての研究を行った。

主な結果は、次のとおり。

- ① 煙濃度 (C_s) から、多孔質セラミクス、石膏ボード、かば材以外は、避難時に視覚を妨げる可能性がある材料といえる。
- ② 総発熱量は、カーテンやじゅうたんと比較して内装材料が最大で約30倍の値を示し、火災拡大時の危険性を表しているといえる。
- ③ 人体に有害と考えられる気体で、接着剤などに含まれている樹脂に由来するとされている成分の発生が確認された。

1 はじめに

省エネルギー対策として、住宅の高気密化、高断熱化が進められ、室内空气中に放散された汚染物質が滞留しやすい構造になってきている。

また、科学技術の発達などにより、建築材料や室内の什器の材料、作成方法などが変化している。様々な石油合成物質が用いられ、揮発性の高い物質は室内空气中に放散されている。

これらのことは、居住者が高濃度の汚染空気環境下で生活することに繋がり、シックスクールやシックハウスといった建物内部に関連した新たな健康被害の報告が増加している。

そこで、2003年7月1日に施行された改正建築基準法では、シックハウスの原因物質とされるクロルピリホスとホルムアルデヒドについての規制が新たに加えられた。クロルピリホスを使用している建

築材料は居室を有する建築物への使用が禁止され、ホルムアルデヒドは放散量について等級が分けられ、内装材の使用については等級ごとに面積制限がされることになった。さらに、機械式の換気設備の設置を義務付け、天井裏等も含めた居住空間に放散するホルムアルデヒドについての規制がされた。

建築材料業者は、「ノンホルム」「健康住宅」などの特徴を前面に押し出した製品を流通させており、従来からの製品についても、新たな基準への適合性があることを強調しながら販売を進めることに加えて、新たな材料の開発も進めている。

住宅火災によって発生する死傷者数の減少は、消防行政上重要な課題のひとつである。そのため、新たな住宅に関する問題として浮上したシックハウス症候群への対策を施した住宅で火災が発生した場合に、これまでと異なる面から居住者への影響を把握

する必要性が考えられる。また、建築材料の防火・耐火などの基準は建築基準法で定められているが、施工ごとの特徴を比較することが目的ではないため、複数種類の下地を使用する材料の場合には標準の下地による試験を行うことになっている。

そこで、シックハウス症候群対策として流通している建築材料について、火災時の延焼経路となる壁、天井、床について、実際の施工状態に調整し、人体に対する影響などを考察するための基礎資料を得る目的で燃焼性状などを把握する研究を行った。

2 実験試料

建築基準法の改正に伴いホルムアルデヒドの放出がないなどの理由で再認識された材料や、新たに開発された材料を中心として、壁、天井、床について以下の部材を選定した。

(1) 壁装材

構造材を3種類（合板、中質繊維板、パーティクルボード）選定し、仕上材として選定したビニルクロスを、シックハウス症候群対策がされた接着剤（でんぷん系）で貼り付けた。合板、中質繊維板、パーティクルボードは、従来から壁材として多用されているが、低ホルムアルデヒド放出型として流通されているものを選定した。

ア 合板（厚さ9mm）

ベニヤ板を木目が直行するように重ね、接着剤で張り合わせたものである。使用される接着剤はユリア樹脂系が多い。厚さ12mmに換算して、年間60万枚の流通がある。

イ 中質繊維板（厚さ10mm）

木材繊維を原料として板状に成型されたもので、接着剤の使用が不可欠である。使用されるほとんどの接着剤はホルムアルデヒドを主成分としたユリアメラミン系のものである。原料の広葉樹チップの生産量は、農林水産省の統計で、2000年に279万 m^3 、2001年に2480万 m^3 、2003年に2293万 m^3 だった。

ウ パーティクルボード（厚さ15mm）

木材の小片を接着剤を用いて成型圧縮したもので、使用される接着剤はホルムアルデヒドを主成分とし、ユリアメラミン系などがある。年間2000 m^3 の生産量がある。

(2) 天井材

ア 多孔質セラミクス

原料が酸化ケイ素であり、ホルムアルデヒドの放出と無関係であることなどが強調されている。2002年に出荷量0.7万 m^3 だったものが、改正建築基準法が施行された2003年には1万 m^3 に伸びた。2004年も同量だった。

イ 赤松羽目板

天然木材はホルムアルデヒドの放出がないことか

ら、住宅用建材として見直されている。農林水産省の統計で、合板用のあかまつとくろまつを合わせた生産量は、2000年が4000 m^3 、2001年が11000 m^3 、2002年が13000 m^3 だった。

ウ 石膏ボード

原料が硫酸カルシウムで、環境への優しさとホルムアルデヒドを放出しないことを強調している。石膏ボード工業会の統計で2002年に52万 m^2 だった出荷量が、2003年に55万 m^2 、2004年の推計値で57万 m^2 と増加傾向である。今回用いたものは、このうちの75%を占めるものである。

(3) 床材

ア なら材

天然木材はホルムアルデヒドの放出がないことから、住宅用建材として見直されている。市場流通量が月800 m^3 のものを使用した。市場全体では、月800万 m^3 の流通がある。

イ かば材

天然木材はホルムアルデヒドの放出がないことから、住宅用建材として見直されている。今回試験体として選定したものの最近3年間の出荷量は、2001年度（10月から翌年9月まで、以下同様の扱い）8278 m^3 、2002年度10327 m^3 、2003年度6709 m^3 であった。

ウ コルクタイル

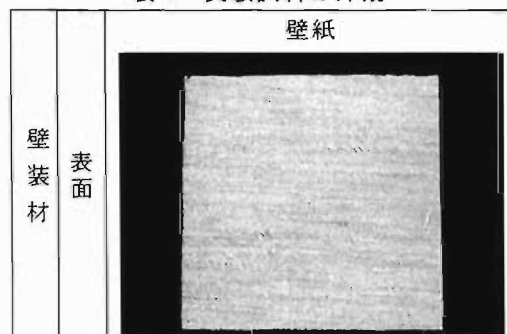
年間22tの流通量がある。ポルトガルからの輸入品であり、欧州では長年難燃建材としての需要がある。ホルムアルデヒドを使用しない接着剤で構造用合板に貼り付け実験試料とした。

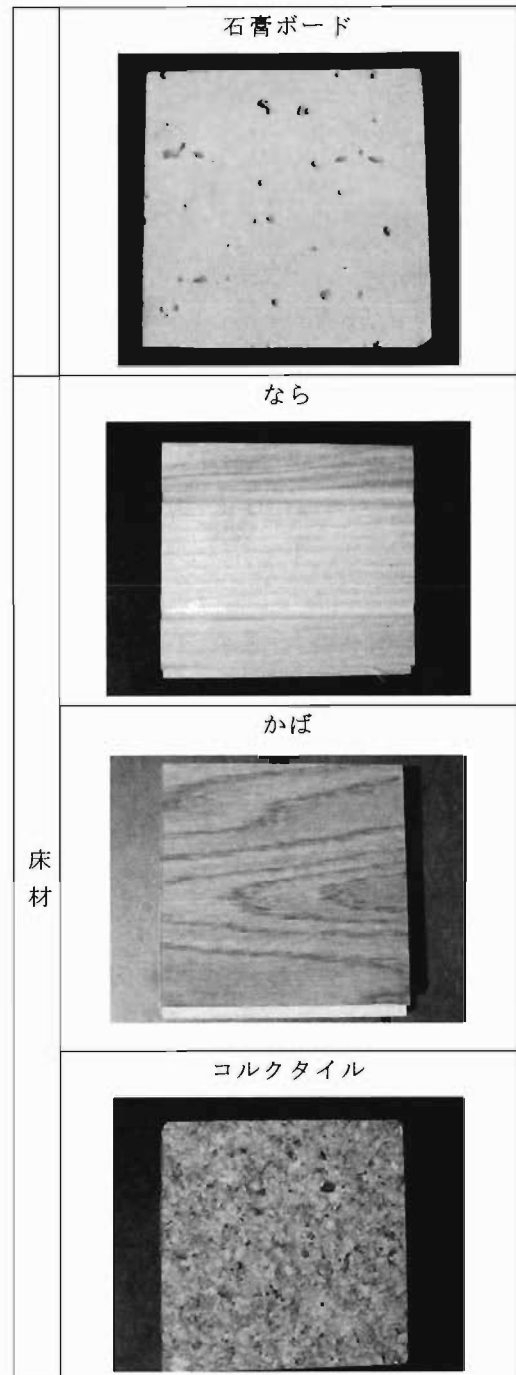
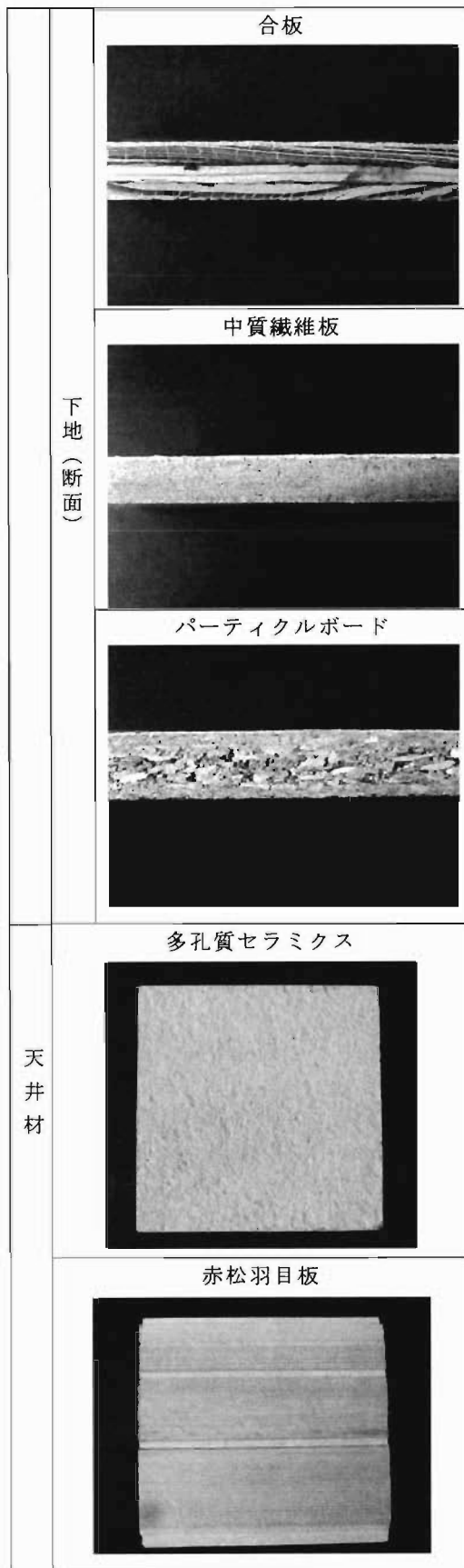
構造用合板は厚さ12mmのものをを用いた。合板全体で年間60万枚の流通がある。

選定した材料を、天井材と床材については10cm角の大きさに切り出し、壁材は10.5cm角の大きさに切り出した。試料は、建築基準法に準拠した内装材の発熱性試験方法を基に、温度23 $\text{C}^{\circ}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、湿度50% $\pm 5\%$ の環境下で重量変化がなくなるまで養生を行った。施工が必要なものは構造材等への貼り付けを行った後に同様の処理を行った。

試料の外観は、表1のとおり。

表1 実験試料の外観





3 実験条件

(1) コーンカロリメータ

ISO5660 に準拠した装置。東洋精機社製。

ア 輻射熱：50kW/m²

イ コーンヒータの方向：天井材と床材は水平、壁材は垂直

ウ 加熱時間：着火する試料は有炎現象の終了まで、着火しない試料は 150 秒間

エ ヒーターと試料の距離：25 mm

オ テドラーバッグへの導入：着火する試料は着火 30 秒後から導入、着火しない試料は輻射開始

30 秒後から導入
 カ 実験回数：3 回

(2) イオンクロマトグラフ
 メトローム社製 MIC-53、761Compact IC
 測定条件などを表 2 に示す。

表 2 イオンクロマトグラフの条件

検出イオン種	陰	陽	有機酸	シアン
カラム	SHODEX SI-90	SHODEX YK-421	SHODEX KC-811	SHODEX CN-150
カラム温度	常温	常温	40℃	常温
流速	1.0 ml/分	1.5 ml/分	1.0 ml/分	1.0 ml/分
溶離液	1.8 mmol/l Na ₂ CO ₃ 1.7 mmol/l NaHCO ₃	4mmol/l H ₃ PO ₄	1mmol/l HClO ₄	1mmol/l H ₂ SO ₄
検出器	電気伝導度計 紫外吸光度計	電気伝導度計	電気伝導度計	可視吸光度法

(3) 加熱実験

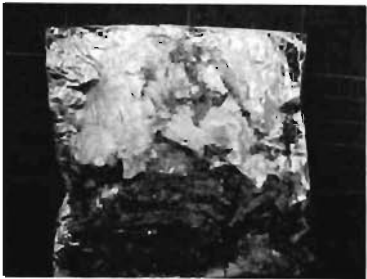
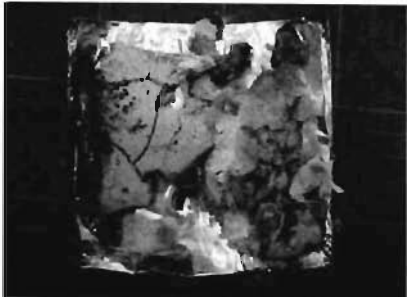
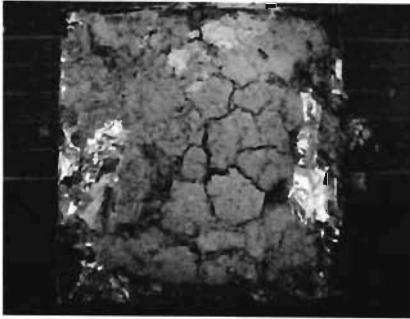
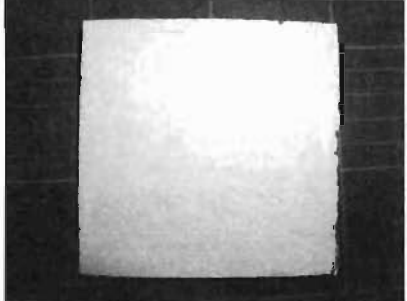

コーンカロリメータを用いて試料への輻射を行い、輻射時に発生する気体の濃度を測定した。酸素、一酸化炭素および二酸化炭素は付属の濃度計を用いた経時変化を測定した。また、容量 50 のテドラーバッグに水 0.20 を入れたものに毎分 12~15l の吸引能力を持つ空気ポンプを用いて導入し、溶解したものはイオンクロマトグラフを用いて、その他の気体の分析を行った。

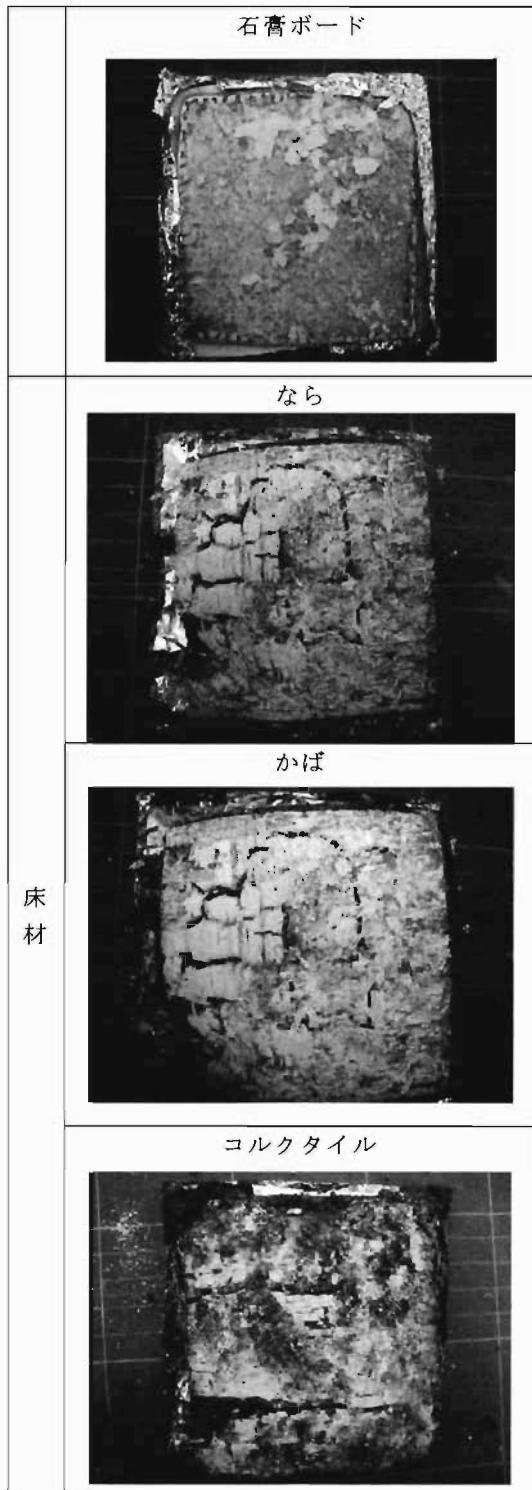
4 結果

(1) 加熱実験

加熱実験後の各試料の外観は、表 3 のとおり。

表 3 コーンカロリメータで加熱後の試料

壁紙	合板	
	中質繊維板	
	パーティクルボード	
天井材	多孔質セラミクス	
	赤松羽目板	



(2) 加熱実験時の発生気体

加熱実験時に計測した発生気体の濃度の最大値と放射開始からの時間については、次のとおり。

ア 酸素

酸素濃度は、いずれの試料を加熱した場合もほぼ変化がなかった。

イ 二酸化炭素

試料名	最大濃度/ %	加熱時間/ 分
合板	0.63	7.0
中質繊維板	1.05	8.0
パーティクルボード	0.47	10.0
多孔質セラミクス	0.08	5.0
赤松羽目板	0.55	0.5
石膏ボード	0.08	1.5
なら	1.05	1.0
かば	0.80	10.0
コルクタイル	0.70	17.5

ウ 一酸化炭素

試料名	最大濃度/ %	加熱時間/ 分
合板	0.032	18.5
中質繊維板	0.024	4.0
パーティクルボード	0.025	17.5
多孔質セラミクス	0.009	5.0
赤松羽目板	0.014	7.5
石膏ボード	0.011	1.0
なら	0.018	22.5
かば	0.010	15.0
コルクタイル	0.017	15.0

(3) 煙濃度の変化

加熱実験時に計測した煙濃度(Cs)の最大値と放射開始からの時間については、次のとおり。

試料名	煙濃度/ m ⁻¹	加熱時間/ 分
合板	1.65	0.5
中質繊維板	1.90	0.5
パーティクルボード	1.65	0.8
多孔質セラミクス	0.10	4.5
赤松羽目板	2.00	0.5
石膏ボード	1.05	1.2
なら	1.8	0.5
かば	1.00	11.0
コルクタイル	1.75	15.0

(4) 総発熱量の変化

加熱実験時に計測した総発熱量の最大値と放射開始からの時間については、次のとおり。なお、試料名に網かけをしたものは、加熱時に着火した。

試料名	煙濃度/ m ⁻¹	加熱時間/分
合板	1.65	0.5
中質繊維板	1.90	0.5
パーティクルボード	1.65	0.8
多孔質セラミクス	0.10	4.5
赤松羽目板	2.00	0.5
石膏ボード	1.05	1.2
なら	1.8	0.5
かば	1.00	11.0
コルクタイル	1.75	15.0

(5) 検出されたイオン種

加熱実験時に採取した試料から検出されたイオン種については、次のとおり。なお、有機酸イオンは有意なクロマトグラムが得られなかった。また、シアンイオンは、中質繊維板からの試料のみ検出された。

試料名	陽	陰
合板	Na (0.03ppm) K (0.02ppm) Mg (0.15ppm)	Cl ⁻ (3ppb) NO ₂ (0.01ppm) PO ₄ (0.01ppm) SO ₄ (0.01ppm)
中質繊維板	Na (0.01ppm) NH ₄ (0.01ppm) Mg (0.16ppm)	Cl ⁻ (0.01ppm) NO ₂ (0.07ppm) NO ₃ (0.03ppm) PO ₄ (0.02ppm) SO ₄ (0.01ppm)
パーティクルボード	Li (0.02ppm) Na (0.05ppm) Mg (0.51ppm)	Cl ⁻ (0.01ppm) PO ₄ (0.02ppm) SO ₄ (3ppb)
多孔質セラミクス	Na (0.02ppm) Ca (0.50ppm) Mg (0.58ppm)	Cl ⁻ (0.01ppm) NO ₂ (0.01ppm) PO ₄ (0.04ppm) SO ₄ (0.01ppm)
赤松羽目板	Na (0.04ppm) Mg (1.11ppm)	Cl ⁻ (0.01ppm) NO ₃ (3ppb) PO ₄ (0.04ppm) SO ₄ (0.03ppm)
石膏ボード	Na (0.05ppm) NH ₄ (0.06ppm) Ca (0.55ppm) Mg (0.65ppm)	Cl ⁻ (4ppb) NO ₂ (8ppb) PO ₄ (0.04ppm) SO ₄ (0.02ppm)
なら	Na (0.23ppm) NH ₄ (0.17ppm) K (0.18ppm) Ca (3.92ppm) Mg (1.00ppm)	Cl ⁻ (0.08ppm) NO ₂ (0.03ppm) NO ₃ (0.03ppm) PO ₄ (0.04ppm) SO ₄ (0.60ppm)

かば	Na (0.05ppm) NH ₄ (0.01ppm) K (0.05ppm) Mg (0.40ppm)	Cl ⁻ (0.02ppm) PO ₄ (0.05ppm) SO ₄ (1.02ppm)
コルクタイル	Na (0.04ppm) Ca (0.69ppm) Mg (0.56ppm)	Cl ⁻ (0.03ppm) NO ₃ (0.01ppm) PO ₄ (0.04ppm) SO ₄ (0.04ppm)

5 考察

(1) 検出されたイオン種からの考察

今回の実験は、火災初期に人体の避難行動などに影響を与えるガス種について総合的に検討することを目的とした。気体が人体へ影響を及ぼす場合、目や鼻、のどの粘膜などへの刺激あるいは粘膜からの体内への吸収による障害が考えられ、水に溶解する濃度の高さが危険性に関連することが考えられる。そこで、発生気体の捕集方法として、水を入れたテドラバッグに溶解させた。しかし、特定のガス種に対しては公定法として定められている吸収液があること、並びに、全てのガス種の水への吸収係数を求めた上での結果ではないことを考慮に入れ、以下の考察を進める。

ア アンモニアガスの発生

石膏ボード、なら材、かば材、中質繊維板の燃焼ガスから検出された。

石膏ボード以外は、木材を原料とし、接着剤などで圧着などの加工をしたものである。火災に伴うアンモニアガスの発生は、窒素化合物が燃焼することによる。従来から床材などの製造に用いられてきた主な接着剤の原料はユリア樹脂、フェノール樹脂、メラミン樹脂、動植物系であるが、フェノール樹脂を除くと窒素が構造に含まれる化合物であり、燃焼時にアンモニアガスが発生することが考えられる。

石膏ボードは再生紙と硫酸カルシウムの水和物が原料であり、様々な物質を化学吸着することが知られている。原料からの発生は考えられないため、環境中の窒素化合物が吸着していた可能性があり、燃焼生成物としてアンモニアガスが発生した可能性が考えられる。

イ 塩素ガスの発生

いずれの試料からも塩化物イオンは検出されたが、試料の燃焼から発生したものと断定できる量ではない。

ウ 一酸化窒素の発生

赤松羽目板、かば材、コルクタイル、パーティクルボード以外の試料から亜硝酸イオンが検出された。亜硝酸イオンは、一酸化窒素が水に溶けて形成されるため、一酸化窒素が発生した可能性が考えられる。

アンモニアガス同様、接着剤などに含まれる窒素化合物の影響が考えられる。

エ 二酸化窒素の発生

赤松羽目板、なら材、コルクタイル、中質繊維板から硝酸イオンが検出された。硝酸イオンは、二酸化窒素が水に溶けて形成されるため、二酸化窒素が発生した可能性が考えられる。材料中の窒素化合物が発生に関与していると考えられる。

オ 亜硫酸ガスの発生

他の試料と比較して硫酸イオンが高い濃度で検出されたのは、かば材だった。亜硫酸イオンは酸化されやすく、硫酸イオンとなるため、かば材の燃焼の際に亜硫酸ガスが発生していた可能性は否定できない。

カ シアン酸ガスの発生

シアンイオンが検出されたのは、中質繊維板からのみであり、前掲の表に加えなかった。中質繊維板は、木質繊維及びメラミン・ユリア・ホルムアルデヒド樹脂からなり、耐水材としてパラフィンワックスを用いている。「火と煙と有害ガス」によれば、メラミン・ユリア・ホルムアルデヒド樹脂は燃焼時にシアン酸ガスを発生することが分かっているが、実験を行った他の試料のうち同様の原料を使っても検出されなかった場合があるため、差異について検討する必要がある。

キ 有機酸イオンの発生

一般的に、木材などの有機物の燃焼で発生するものであるが、今回の実験では石膏ボードとかば材の試料から検出された。しかし、明らかなピークとして判定しにくいクロマトグラムであり、前掲の表に加えなかった。今後、検出方法などを再検討する必要がある。

(2) 一酸化炭素と二酸化炭素の濃度変化の考察

ア 一酸化炭素濃度

空気中の濃度が 0.03%で、他の成分が人体に影響を及ぼす濃度ではない場合、1 時間暴露されると頭重などが症状として表れる。0.03%付近まで上昇した試料は壁装材で、最大濃度継続時間は、合板が 5 分程度、中質繊維板が 3 分程度、パーティクルボードが 5 分程度であった。合板は輻射開始と共に緩やかに濃度が上昇し、燃焼中期に最大値を示した。その後緩やかに下降した。中質繊維板は表面の燃焼から内部の燃焼に移行した後急激に濃度が上昇し、燃焼の進行と共に緩やかに下降した。パーティクルボードは、中質繊維板と同様の濃度変化を示したが、燃焼終了までの濃度下降割合は小さかった。これらから、中質繊維板並びにパーティクルボードを下地とした内装の場合、発生した一酸化炭素が、人体に影響を与える濃度で長時間存在し、避難行動などに支

障を及ぼす可能性が考えられる。

イ 二酸化炭素濃度

空気中で 4%を超えると、粘膜への刺激、頭部圧迫感などが生じる。今回は、二酸化炭素濃度が 4%を超えた試料はなかった。通常の空気に含まれている 0.03%と比較すると、3 倍から 50 倍近い値を示していることと、他の発生気体との複合作用を考慮に入れると、人体への影響を及ぼす一因となることが考えられる。

(3) 煙濃度の考察

煙濃度 C_s と見通し距離 V との間には、階段や出口の扉付近の場合、

$$C_s \times V \approx 1 \sim 2$$

の関係がある。これを基に考えると、最も C_s が小さな値であった多孔質セラミックスの場合は見通しが 10m、最も大きかった羽目板が 0.5m ということになる。居室からの避難を考えると、見通し距離は少なくとも 2m は必要と考えられ、その場合 C_s は最大でも 1.0 程度となる。これに該当する試料は、多孔質セラミックス、石膏ボード、かば材の 3 種類だった。

今回の値は、旧基準の不燃材、防火 1 級の壁紙の C_s が 5.7 を示したことと比較すると小さくなっていることから、避難時の煙発生は抑えられているといえる。しかし、避難の際に視界を妨げる要因となることは否定できない。

(4) 総発熱量の考察

輻射量 50kW/m²で同様の実験をした場合、ナイロン 100%のじゅうたんで 37.3 MJ/m²、ポリプロピレン 100%のじゅうたんは 26.7 MJ/m²である。また、綿のカーテンの場合 4 MJ/m²、ポリエステルカーテンの場合 6 MJ/m²である。今回、着火した試料は全てじゅうたんの値の 2 から 3 倍、カーテンの値の 20 倍程度を示し、収容物から内装に燃焼が拡大した場合の危険性を示している。

参考文献

- 1) シックハウスと VOC 対応建材の開発 (シーエムシー)
- 2) 健康住宅と VOC 対策建材の開発 (シーエムシー)
- 3) シックハウス総プロ成果発表会資料
- 4) 火と煙と有害ガス ((財) 東京連合防火協会、東京法令出版)
- 5) コーンカロリメーターによる防災材料の燃焼性状に関する研究報告書 (消防研究所研究資料第 37 号)
- 6) 実大規模でのカーテン類の燃焼性状に関する実験的研究報告書 (消防研究所研究資料第 43 号)

Study on the Fire Characteristics of House Interior Materials

Tamiko INOUE*, Masatoshi WATANABE**, Makoto EGUCHI*

Abstract

A recent report says that the number of the patients suffering from sick-school and sick-house syndromes, which are related with an indoor environment, has been increasing. As the measure against such syndromes, the revised Building Standards Act took effect on July 1st, 2003 which added the regulation for chlorpyrifos and formaldehyde which are considered as the main cause of those syndromes. Some parts of the regulation state that house interior decoration materials should not include chlorpyrifos and the areas for the materials' application should be limited according to the exhausting amount of formaldehyde.

So the related companies are insisting that the current materials fit in the new standards, and are developing new materials.

The ratio of the fire death occurring in the house is the highest of all, despite better building fire retardants and smaller burned areas. Death occurs regardless of the size of fire. We can see the causes of death are fire, heat and also the gases and smoke generated from burning.

Under circumstances, we studied the fire characteristics of the materials of walls, ceilings and floors, focusing on the materials which are on the market to address the needs for preventing sick-house syndrome. They were tested in the actual furnished form.

The main results are as follows;

(1) From the smoke concentration (Cs), it is possible to say that the fire smoke emerged from all materials but the porosity ceramic, the plaster board and the birch decreases visibility during evacuation.

(2) The maximum total heat release of the interior decoration material is about 30 times as that of a curtain or carpet. It suggests the danger of the fire spreading to interior decoration materials.

(3) Hazardous gases considered to generate from resins in glue are confirmed.