

発泡プラスチック系断熱材のガス有害性に関する基礎的研究

正会員 ○ 趙玄素*¹ 同 野口貴文*¹ 同 安藤達夫*¹ 同 棚池裕*¹ 同 周彪*¹
同 大久保正一*² 同 永田和久*² 同 山田悠史*² 同 前原信頼*²

ガス有害性試験 燃焼ガスの毒性 ガス成分分析
避難時間 動物実験 発泡プラスチック

1. はじめに

発泡プラスチック系断熱材の試料 A,B(A: 硬質ウレタンフォーム(JISA9526 の A 種 3)、B:イソシアヌレートフォーム(JISA9526 の A 種 1H))に対してフーリエ変換赤外分光光度計 (以下 FTIR) を使って生成した燃焼ガスの成分分析をしながら、ガス有害性試験を実施した。毒性値を ISO13571 の式を使って計算し、避難への影響について評価を行った¹⁾。

2. 実験概要

ガス有害性試験は、試験体 (22cm 角) を加熱して発生した燃焼ガスをマウスに与え、その行動停止時間によってガスの有害性を評価している。本研究では、図 1 に示す試験装置を用いて、加熱試験を行った。被検箱 c で生成した燃焼ガスにマウスを暴露し、行動停止時間の記録を行った。被検箱内の温度を 30℃以下とし、マウスを一匹ずつ入れた回転かごを 8 個被検箱内に設置し、排気口 a から 4L/分 (中間排気量を 10L/分としている) で燃焼生成ガスをサンプリングし、FTIR でガス濃度の測定を行った。また、b の位置で排気(煙)温度、c で被検箱内温度の測定を行った。試験体は、始めにガスバーナーで 3 分間加熱した後、さらに 1.5kW の電気ヒーターで 3 分間加熱を加え、合計 6 分間加熱し、各測定は、試験加熱開始後から 30 分間行った。マウスが行動を停止するまでの時間は加熱開始から 15 分経過するまで記録し、次の式で求めたマウスの平均行動停止時間 (X_s) の値が 6.8 分以上の基準を満足する場合にガス有害性試験は合格となる。

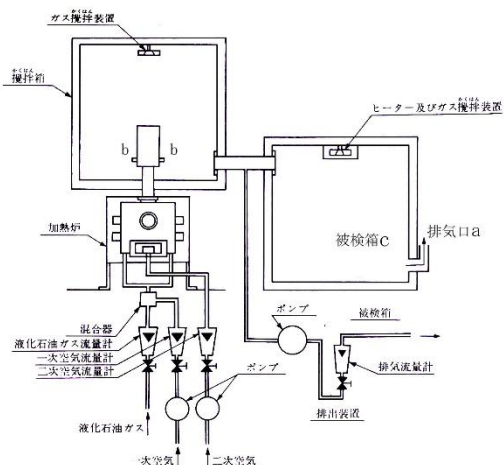


図 1 ガス有害性試験装置

$$X_s = X - \sigma$$

X : 8 匹のマウスの行動停止までの時間の平均値(分)
σ : 8 匹のマウスの行動停止までの時間の標準偏差(分)

3. 実験結果

試料 A,B の質量減少率を表 1 に示し、試料 A,B、の生成した各種ガスの内、一酸化炭素の濃度を図 2 に示し、濃度が高い種類の成分分析結果を図 3,4 に示す。質量減少率を見ると、試料 B の方が単位体積に対して高い重量収率を示す。ガスの生成量を比較すると、全体的に試料 A の生成ガスの濃度が高い結果となった。一酸化炭素の生成量は試料 A が B の 1.6 倍であった。しかし、試料 B ではフェノールが多く発生し、これは含まれる芳香族の濃度が高いことが理由として考えられる。

基準材であるラワンと比較すると、アクロレインを除

表 1 試験体の質量減少率

	質量(g)		寸法 (mm)	厚さ (mm)	密度 (g/cm ³)	質量減少率 (%)
	実験前	実験後				
試料A	19.45	9.66	219×220	25.3	0.016	50.33
試料B	56.29	43.94	221×226	25.4	0.044	21.94

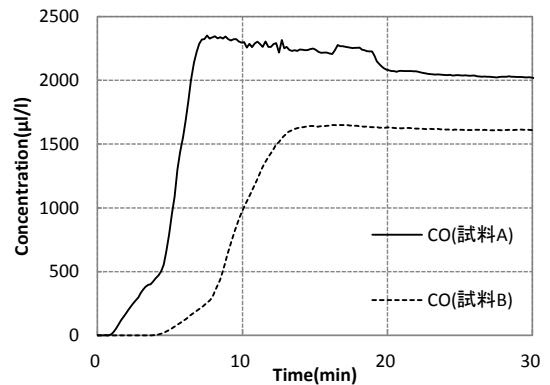


図 2 CO(試料 A, 試料 B)

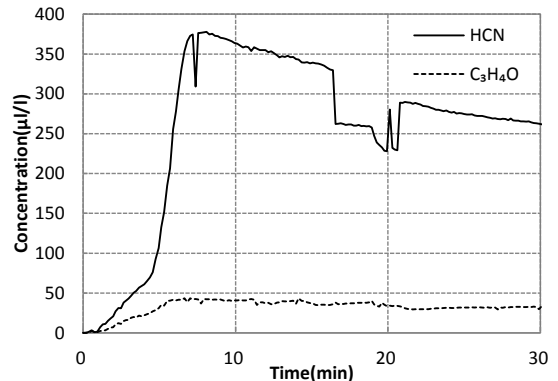


図 3 試料 A (HCN, C₃H₄O)

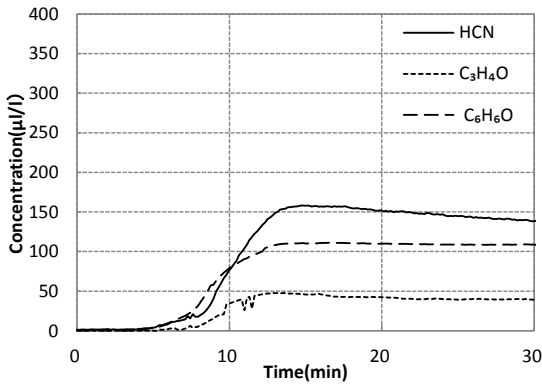


図4 試料 B (HCN, C₃H₄O, C₆H₆O)

く刺激性ガスは試料 A, B の方が多く生成した。窒息性ガスは酸素供給を妨害し、呼吸する動物を死に至らせるガスであり、一酸化炭素やシアン化水素が窒息性ガスである。刺激性ガスは避難者の目や鼻などの粘膜に刺激を与え、行動や視界の妨げとなり、歩行速度が減少し、アンモニアやアクロレイン、ホルムアルデヒドが刺激性ガスである。また、一酸化炭素の増加率について、試料 A はラワンや試料 B と比べると、加熱開始直後から大きく増加した。一方、試料 B は燃焼開始から 5 分経過するまでガスの生成がほとんど見られなかった。

4. 毒性値の評価

マウスの平均行動停止時間 X_S および毒性値 X_{FEC} 、 X_{FED} の結果を図 5 に示す。有効曝露量率 X_{FED} 、および有効濃度率 X_{FEC} は ISO13751 によって提案された毒性モデルである。

窒息性影響は式(1)によって、暴露した人間の暴露時間や吸収線量によって評価する。不確かさは 35% 前後とされている。

刺激性影響は式(2)によって、知覚器官や上気道への刺激物の影響、またある程度の肺への影響を刺激性ガスの濃度によって評価する。不確かさは 50% 前後とされている。

$$X_{FED} = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[CO] \cdot v_{CO_2}}{35000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{([HCN] \cdot v_{CO_2})^{36}}{1.2 \times 10^6} \Delta t \quad \dots(1)$$

$$v_{CO_2} = e^{\frac{[CO_2]}{5}}$$

v_{CO_2} : 過呼吸を考慮した頻度係数(= $e^{[CO_2]/5}$)

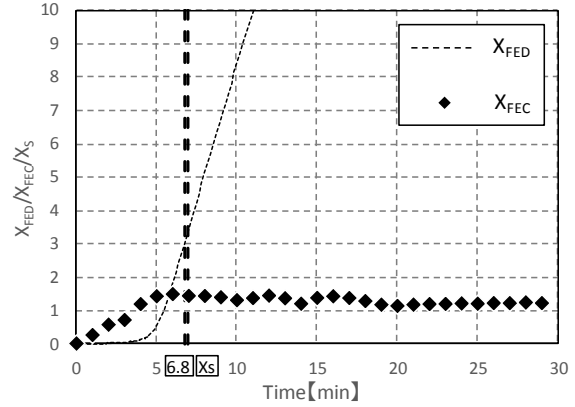
Δt : 分で表される時間区分

$$X_{FEC} = \sum \frac{[irr.]}{F_{irr.}} \quad \dots(2)$$

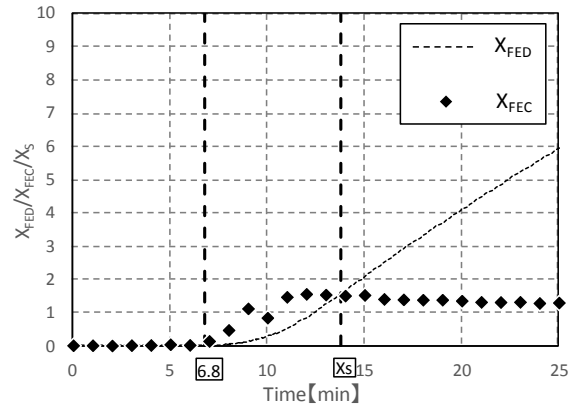
図 3 から、試料 A, B およびラワンの X_S はともに行動停止時間 6.8 分を上回る結果となった。 X_{FEC} や X_{FED} の時間ごとの増加率から、火災初期においては、試料 A, B ともに窒息性影響よりもガスの刺激性影響の方が大きく、試料 B は A よりも長く避難安全時間を確保できると考えら

れ、安全性が高いものである。

マウスの平均行動停止時間を材料ごとに比較すると、試料 B > ラワン > 試料 A となった。これを 6.8 分における X_{FED} を比較すると、同じ関係であったため、行動停止時間には一酸化炭素とシアン化水素の影響が支配的であることが考えられる。 X_{FEC} の計算結果からいずれの試験体もアクロレインによる影響が大きかった。



(a) 試料 A



(b) 試料 B

図5 毒性値と行動停止時間

5. まとめ

1) ガス有害性試験装置を使って、試料 A, B に対して燃焼実験を行い、生成する有害性ガスの濃度や種類を明らかにした。2) 生成した煙やガスにマウスを曝露し、平均行動停止時間の記録を行ったが、いずれも行動停止時間 6.8 分を上回る結果となった。3) 有害性ガスの刺激性影響および窒息性影響と時間の関係をそれぞれ示し、避難時の安全性について評価した。

6. 今後の課題

ガス有害性試験装置だけでなく、チューブ炉を使って燃焼実験を行い、実火災時を想定した燃焼条件における生成ガスの有害性を評価する予定である。

7. 参考文献

1) 趙玄素、野口貴文、成瀬友宏、吉岡英樹、棚池裕、藤本郷史、長谷善博、早川哲哉、火災時の燃焼条件に応じた生成ガスの有害性に関する研究 - チューブ炉試験における生成ガスの FTIR 分析 -、JAFSE 研究発表会、2016

*1 東京大学大学院工学系研究科

*2 株式会社日本アクア

*1 Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

*2 Nippon Aqua Co., Ltd.