

燃焼ガス成分分析に基づく防火材料の毒性評価手法の構築

(研究期間：令和7年度～令和9年度)

建築研究部

防火基準研究室

主任研究官
(博士(工学))

趙 玄素

室長
(博士(工学))

鈴木 淳一

(キーワード) ガス有害性試験、ガス成分分析、防火材料

1.

国土を強靱化し、国民のいのちと暮らしをまもる研究

1. はじめに

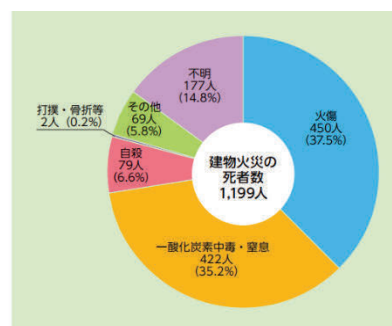
火災時に発生する有害性ガスの拡散速度は火炎よりも速く、火災初期において避難者の命を脅かす大きな原因である。2024年中の建物火災による死者数(1,199人)のうち、一酸化炭素中毒・窒息を死因とするものが35.2%となっており、火傷(37.5%)に次いで多い死因となっている(図-1)。

現在、防火材料の大臣認定に係る性能評価においては、発熱性試験などに加えガス有害性試験が定められている。ガス有害性試験は、22 cm角の材料片を加熱して発生した燃焼ガスにマウスを曝露し、その行動停止時間を基準値6.8分と比較することで有害性を評価している(図-2)。

動物実験の国際原則3Rの一つにReplacement(動物を用いない代替法への置換)が挙げられている。また、動物愛護管理法でも同様の規定が定められている。以上を踏まえると、現行の動物実験については、早急にマウスを用いない代替試験法の導入が必要不可欠な状況となっている。

燃焼生成ガスの種類や濃度は、加熱条件や酸素濃度によって大きく異なることが知られている。しかし、ガス有害性試験は、実際の火災での燃焼環境を十分に再現できておらず、避難安全を評価することが困難である。加えて、試験装置の製造がすでに中止されており、長期的に利用する試験法としての継続性にも課題がある。さらに、動物愛護や実験従事者の心身の健康リスクの点からも課題が指摘されている。

特に、ガス成分などに基づく定量的な評価が採用されていないため、国際標準化への対応は困難であ



(備考) 1 「火災報告」により作成
2 小数点第2位以下四捨五入により、合計値が100とならない場合がある。

図-1 建物火災の死因別死者発生状況
(2025年度版 消防白書より)



図-2 ガス有害性試験装置

る。一方、代替手法であるガス成分分析法では、これらの問題点を解決できる可能性が高い。しかしながら、ガス成分分析法による火災時生成ガスの分析・評価には、高度な技術が必要となる。

例えば、決められた手順で実施するだけでは正しい結果が得られず、精度よく測定するためには、サンプリング時の注意点や、測定で得られたスペクトルに基づく定性・定量分析に関する技術的知見や操作方法への習熟が必要となる。そのため、国内では火災時に生成するガスは複雑で測定が困難であったことや、技術的な難しさを背景として、ガス成分分

析法への移行が進んでこなかった状況にある。近年、基礎研究による知見の蓄積、測定装置の整備、ならびに測定技術の習得が進められ、ガス成分分析への移行の可能性が見通せるようになりつつある。

本稿ではガス有害性試験の高度化を目的として、ガス成分分析を用いたガス有害性試験法の代替手法について検討し、その結果を報告する。

2. 研究概要

令和7年度はガス成分分析を用いたガス有害性試験法の代替手法の確立という目的の達成に向けて、3つのサブテーマを実施した。

1つ目は、ガス成分分析法の分析精度を高めるための技術検討である。火災時に発生するガスの成分をより正確に測定するため、新たにガスクロマトグラフィー（ガスを成分ごとに分離・分析する装置）を整備した。これにより、従来使用していたFTIR（フーリエ変換赤外分光光度計）による測定結果と比較し、測定値の妥当性や正確さを確認した。また、測定条件や手順のばらつきを防ぐため、ガス成分分析法の実施マニュアルを作成した。

また、測定結果の信頼性を確認するために、ISO（International Organization for Standardization：国際標準化機構）の技術委員会であるISO/TC92/SC1/WG5が実施するISO 19021¹⁾に基づく国際ラウンドロビン試験にも参加した。当該試験では、異なる国・機関の試験機関が同一の試験体を用い、同一条件でスモークチャンバー試験（SDC試験；図-3、図-4）を実施し、FTIRによるガス成分分析を行うこととなる。参加機関の分析結果を相互に比較することで、各試験機関の測定精度や再現性が、最終的に評価される。



図-3 SDC試験装置²⁾

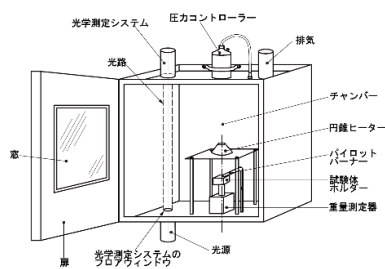


図-4 SDC試験本体部分装置図²⁾

本研究で実施した分析結果は、妥当であると評価され国際的な信頼性を有することが確認された。

2つ目はガス有害性試験の火災進展段階の確認である。代替手法の提案に向けて、ガス有害性試験の燃焼条件を示す火災環境の換気条件が非常に重要な要素となる。そのため、ISO19706に示される火災進行段階について検討を行った。ガス有害性試験の火災進行段階は2-3aに該当しており、燃料支配型燃焼の火災成長段階からフラッシュオーバー前の換気支配型燃焼となっていることが確かめられた³⁾。

3つ目は、ガス有害性試験法とガス成分分析法の関係の明確化のための、マウスの行動停止の毒性モデルの作成である。マウスを用いたガス有害性試験およびSDC試験をそれぞれ実施し、両者の結果について比較・分析した。具体的には、マウス試験において行動が停止するまでの時間を評価指標とし、さらに曝露後のマウスから血液サンプルを採取して、血液中に取り込まれたガス成分の濃度を測定した。これらの結果を、SDC試験におけるFTIR測定から得られた有害性ガスの成分や濃度と比較することで、ガスの成分分析結果からマウスの行動停止を予測する毒性モデルの構築を試み、両試験法の相関性を検討した。

3. おわりに

今後、国際ラウンドロビンの結果やマウスの行動停止の毒性モデルの詳しい検討結果などについては、随時ISO規格や学会発表等で公開される予定である。また、将来的にこの研究成果を活用してガス有害性試験の代替手法を提案する予定である。

詳細情報はこちら

- 1) ISO 19021:2018, Test method for determination of gas concentrations in ISO 5659-2 using Fourier transform infrared spectroscopy.
- 2) ISO 5659-2:2017, Plastics -- Smoke generation -- Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.
- 3) 福田泰孝、趙玄素、吉岡英樹、成瀬友宏：ガス有害性試験の燃焼環境が該当する ISO 19706の火災進行段階について、日本建築学会梗概集、2025年9月