

## ISO 5659-2 スモークチャンバー試験とガス有害性試験の比較に関する研究 -窒息性ガスの収率に着目して-

正会員 ○趙 玄素\* 福田 泰孝\*\* 吉岡 英樹\*\*\* 成瀬 友宏\*

ガス毒性      ガス有害性試験      ガス成分分析  
FTIR          スモークチャンバー試験      収率

### I はじめに

平成 12 年に建築基準法が改正され、防火材料を評価する国土交通大臣認定に関わる性能評価試験に、発熱性試験等の他にガス有害性試験が定められた。ガス有害性試験は、22cm 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 分と比較することによってガスの有害性を評価している。

ガス有害性試験は動物試験であるため、生成ガスの定量化ができないなど、様々な問題点が挙げられ、動物愛護の観点からも好ましいものではない。従って、動物試験に代わる評価手法の提案が求められている。

欧州諸国では、ガス有害性を評価する手法として、燃焼ガス成分の定量分析手法が使用されており(EN 17084、ISO 19021<sup>1)</sup>)、これは ISO 5659-2<sup>2)</sup>スモークチャンバー試験 (Smoke Density Chamber Test; 以下 SDC 試験) で発生した煙を採取し、フーリエ赤外分光光度計 (FTIR) を用いて定量分析し、生成したガスの濃度から毒性指数 CIT 値を計算することにより、評価する手法となっている。

本研究では、SDC 試験を実施し、FTIR を用いて生成ガスの濃度測定を行った。過去の研究において実施したガス有害性試験の結果と比較し、それぞれの試験の特性について調べた。

### II 研究の概要

SDC試験装置の写真および主な部分の装置図を図1、2に示す。図1、2に示す試験装置を用いて、規格ISO 19021に従って加熱試験を行い、FTIRを用いて計測を行った。

SDC試験では、試験体をチャンバーの中に水平に保持し、その上側表面を一定のレベルの熱放射に曝露し、煙を発生させる。一般的に、壁や天井のように広範囲に使用される材料 (0.25mもしくは100g以上) は口火なし50kW/m<sup>2</sup>、火炎からより少ない放射熱を受ける床材は口火あり25kW/m<sup>2</sup>で加熱させることが多い<sup>3)</sup>。本研究では、バーナーで加熱を行うガス有害性試験と比較を行うため、加熱は25kW/m<sup>2</sup>、50kW/m<sup>2</sup>ともに共に口火ありとした。

試験体は75 mm角のものを用い、詳細を表1に示す。また、チャンバー天井中央部に固定されたプローブから生成ガスをサンプリングし、FTIRを用いて測定を行った。

SDC試験とガス有害性試験の比較を行うために、ガス有害性試験は2020年に実施した実験<sup>4)</sup>の結果を用いた。異なる試験を比較するために、火災進展段階(fire stage)ごとに比較することが必要であるが、ガス有害性試験とSDC試験はともに安定した一定の燃焼状態における加熱試験ではなく、燃焼状態を変化させながら加熱分解の経過を観測する試験であるため、火災進展段階の把握が難しい<sup>3)</sup>。

従って本研究では、ガス有害性試験とSDC試験を比較するため、収率(mass loss yield)について計算を行い、比較<sup>5)</sup>を行った。収率については、燃焼状態が近い場合において、同じガス種の収率は似た値になるが、収率が著しく異なる場合は、燃焼状態が全く異なることが知られている<sup>6)</sup>。



図1 SDC 試験装置<sup>2)</sup>

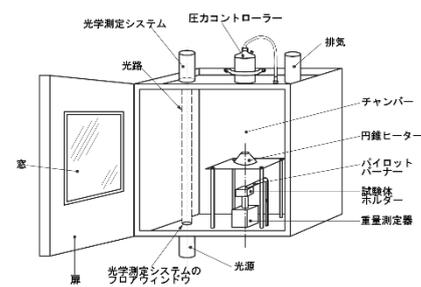


図2 SDC 試験本体部分装置図<sup>2)</sup>

表1 試験体および加熱条件の詳細

	寸法		質量	密度	加熱条件	口火
	(mm)					
アクリルクロス	75.37	75.10	2.69	5.68	0.37	25
イソシアヌレートフォーム	75.00	75.65	23.95	5.61	0.04	25
ウレタンフォーム	74.92	75.28	22.08	5.23	0.04	25
	75.68	76.18	24.04	5.67	0.04	50
塩化ビニル	74.91	75.21	3.91	16.98	0.77	25
杉材	75.67	73.95	17.51	42.04	0.43	25
	74.64	74.38	17.81	43.56	0.44	50
赤ラワン	75.04	74.91	9.96	30.35	0.54	25
	74.95	75.08	9.89	28.52	0.51	50

### III 実験結果

SDC 実験の測定結果から、生成ガスのうち、窒息性ガスである一酸化炭素 CO とシアン化水素 HCN の収率を計算した。収率とは「実際に生成されたガスの質量」の「燃焼で消費された燃焼物の質量」に対する割合である<sup>5)</sup>。本研究ではガス有害性試験の結果と比較するために、チ

チャンバー内の比光学密度(D<sub>s</sub>)が最大になる瞬間の収率を用いた。ガス有害性試験の収率は過去の研究<sup>7)</sup>を参照し、加熱開始から6分間の平均値を用いた。ガス有害性試験とSDC試験の比較結果を図3、4に示す。SDC試験の結果よりガス有害性試験の結果が著しく大きい値を示したので、関係性を明瞭にするため、同種の試験体の収率において、ガス有害性試験時の収率からSDC試験時の収率を除いた値を求め、図3、4に示した。

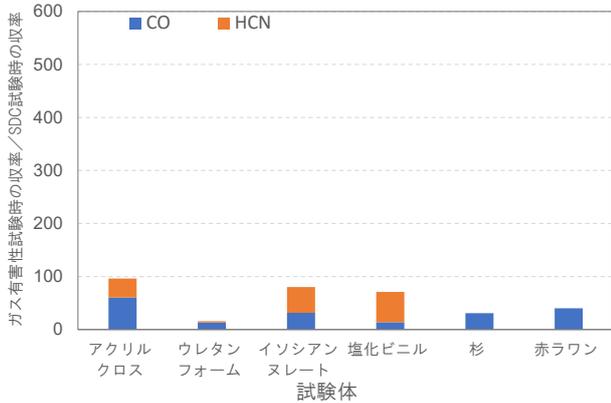


図3 ガス有害性試験とSDC試験(25kW/m<sup>2</sup>口火あり加熱)における収率の比較

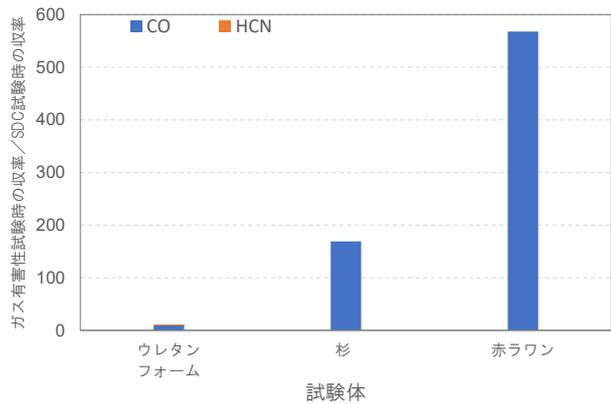


図4 ガス有害性試験とSDC試験(50kW/m<sup>2</sup>口火あり加熱)における収率の比較

図3から、ガス有害性試験の結果と比較してCOおよびHCNの収率がともに大きく異なる値になったことから、SDC試験の25kW/m<sup>2</sup>加熱における燃焼条件は、ガス有害性試験と全く異なることは明らかである。また、木材(杉、赤ラワン)については、ガス有害性試験においてHCNの生成があったのに対し、SDC試験において生成は見られなかった。

図4は、50kW/m<sup>2</sup>加熱を行ったウレタンフォーム、杉、赤ラワンの結果が示されている。ウレタンフォームについては、25kW/m<sup>2</sup>と比較してより近い収率の値であった一方、木材(杉、赤ラワン)については、より大きな差が見られた。

#### IV 考察・まとめ

本研究ではSDC試験を行い、過去に実施したガス有害性試験の結果と比較を行った。それぞれの試験の比較を表2に示す。実験の結果から、口火ありの条件で加熱を行った場合は、SDC試験の方がガス有害性試験よりも完全燃焼に近い燃焼状態となり、COおよびHCNの収率の値が小さいことが明らかになった。

今後の課題として、今年度実施できなかった加熱条件(25kW/m<sup>2</sup>、50kW/m<sup>2</sup>ともに口火なし)を使ってSDC試験を実施し、ガス有害性試験と比較することにより、引き続きガス有害性試験の代替手法の検討を行う予定である。

表2 ガス有害性試験とSDC試験の比較

	ガス有害性試験	スモークチャンバー試験
換気量	一次空気3l/min、 二次空気25l/min、 排気量10l/mn	なし
加熱方法	初めにLPガスバーナーで3分間加熱し、さらに1.5kWを加えて3分間加熱。	一定 50kW/m <sup>2</sup> 、25kW/m <sup>2</sup> 、口火有り無しを組合せて選択。
加熱時間	6分	10分(光透過率が最小値に至らない場合、最大30分まで延長可能)
現在の使用状況	日本の性能評価試験。一度に8匹のマウスを曝露して、ガス有害性を評価。	発煙性試験として考案されたが、FITRを用いて生成ガスを分析し、CIT値を計算することでガス有害性を評価。
収率(CO,HCN)	高い値	低い値
利点	高温および酸素欠乏した厳しい加熱条件により、安全側の評価になる。	・生成ガスの濃度がそれほど高い値にならないため、FTIRで精度よく測定することが容易。 ・試験者にとって快適な環境下で作業することが可能であり、試験後の清掃が容易。
欠点	・煙やガスが多く生成するため、試験後の清掃が大変であり、試験者が望ましくない環境下で作業を行う場合がある。 ・FTIRで精度よく評価することが技術的に困難。	ほとんどの試験体において、酸素が十分にある条件下での加熱となるため <sup>3)</sup> 、ガス毒性の評価として不十分な可能性がある。

#### 謝辞

実験実施に際し、早川哲哉氏、早川雄二氏(TSV社)より貴重な支援をいただいた。

#### 参考文献

- 1) ISO/TS 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) Anna Stec and Richard Hull, Fire toxicity, Woodhead Publishing in Materials, 2010
- 4) 趙玄素ら：燃焼時生成ガスがマウスの行動停止時間に与える影響に関する研究, 2020年度日本火災学会研究発表会概要集, pp.127-128
- 5) ISO 29903, Guidance for comparison of toxic gas data between different physical fire models and scales
- 6) Per Blomqvist and Anna Sandinge, Experimental evaluation of fire toxicity test methods, RISE Report 2018:40
- 7) Xuansu Zhao, Hideki Yoshioka, Experimental study on relationship between behavioral incapacitation time of mice and concentration of gases generated during toxicity test, AOSFST 2021

\* 建築研究所

\*\* ベターリビング

\*\*\* 東京大学

\* Building Research Institute

\*\* Center for Better Living

\*\*\* The University of Tokyo