

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

-CIT_G値 (Conventional Index of Toxicity, general products) とマウスの行動停止時間の比較-正会員 ○趙 玄素*¹ 福田 泰孝*² 吉岡 英樹*³ 成瀬 友宏*⁴ 早川 哲哉*⁵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

I はじめに

現在、建築基準法に定める防火材料には政令で定める性能に対して、発熱性試験などの他にガス有害性試験に合格することが定められている。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有害性を評価している。

ガス有害性試験は動物実験であり、行動停止時間のみによって合否を判断し、生成ガスの定量分析をしていないなど、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、動物実験に代わる評価手法が求められている。

欧州諸国では、ガス有害性を評価する方法として、燃焼ガス成分の定量分析法が使用されており(EN 17084¹⁾、ISO/TS 19021²⁾、これはISO 5659-2³⁾スモークチャンバー試験 (Smoke Density Chamber Test: 以下 SDC 試験) で発生した煙をサンプリングし、フーリエ赤外分光光度計 (以下 FTIR) を用いて定量分析し、測定したガスの濃度から計算した毒性指数 CIT_G 値により、評価する手法である。

既報⁴⁾では、25kW/m²、50kW/m² 口火ありの条件の SDC 試験の結果とガス有害性試験の結果とを比較し、CIT_G 値とガス有害性試験のマウスの行動停止時間に相関性があることを確かめた。本報は既報の結果を更に確認するため、試験体数を増やして実験を行った。

II 実験の概要

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。SDC試験装置を用いて、ISO/TS 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内で水平に保持し、その上面を一定熱放射で曝露し、生成ガスをチャンバー内に蓄積させる。一般的に、壁や天井のように広範囲に加熱される材料は口火なし50kW/m²、火炎からより少ない放射熱を受ける床材は口火あり25kW/m²で加熱させることが多い⁵⁾。本報における加熱条件は、既報においてガス有害性試験と最も相関性が確かめられた25kW/m²口火ありとした。

試験体には、詳細を表1に示す通り、試験体は中密度織

維板 (MDF) 12mmと15mm、壁紙 (塩化ビニル、絹、レーヨン)、アクリル樹脂 (PMMA) の計6種を用いた。また、チャンバー天井中央部に固定したプローブから生成ガスをサンプリングし、FTIRを用いて生成ガスの成分や濃度の測定を行った。

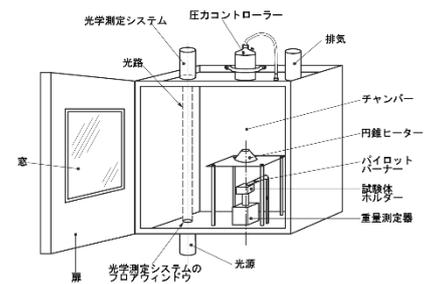
図1 SDC 試験装置²⁾図2 SDC 試験本体部分装置図²⁾

表1 試験体および加熱条件の詳細

試験体名	厚さ(mm)	大きさ(mm)		質量(g)
中密度繊維板 (MDF12mm)	12.1	74.0	75.6	41.68
中密度繊維板 (MDF15mm)	15.1	75.5	75.6	52.08
塩化ビニル (PVC) 壁紙 +せっこうボード9.5mm	10.1	75.6	75.5	39.99
絹壁紙 +せっこうボード9.5mm	9.9	75.5	75.4	41.99
レーヨン壁紙 +せっこうボード9.5mm	10.2	75.6	75.6	40.49
アクリル樹脂 (PMMA)	14.6	74.8	76.0	98.50

III CIT_G値の計算

欧州では、鉄道車両内での火災時における乗客・乗員の安全性確保という観点から車両に使用する材料に一定の防火性能を要求しており、SDC 試験で測定したガス濃度から CIT_G 値を算出し、EN 17084 で定める「危険レベル」によって材料の分類を行っている。本研究では SDC+FTIR を用いて式 (1) と (2) に従い CIT_G 値を計算した。また、表1に CIT_G 値の算出に用いる各ガス成分の基準濃度およびモル質量を示す。

$$C_n = \left(\frac{P_{chamber} \times M_{gas}}{R} \right) \times \left(\frac{c_{gas}}{T} \right) \quad \dots \text{式 (1)}$$

$$CIT_G = 0.0805 \times \sum_{i=1}^{i=8} \frac{C_i}{C_i} \quad \dots \text{式 (2)}$$

C_n : 計測したガス成分の質量濃度 [mg/m³]
 $P_{chamber}$: チャンバー内の圧力 [Pa]
 M_{gas} : ガス成分のモル質量 [kg/mol]
 R : 8.31 [J · mol⁻¹ · K⁻¹]
 c_{gas} : 計測したガス成分の体積濃度 [μl/l]
 T : チャンバー内の温度 [K]
 c_i : 計測したガス成分の質量濃度 [mg/m³]
 G_i : 基準濃度 [mg/m³]

係数の0.0805は、車両火災を想定したものである¹⁾。本研究では建築火災においてSDC試験をガス有害性試験の代替手法として用いることの可能性について検討しているが、建築火災を想定した係数に関する知見が現時点で無いため、本報では車両火災の係数を参照しながら試験開始20分間におけるCIT_G値を計算し、最も高い値を用いて考察を行う。

表2 CIT_Gの算出に用いる各ガス成分の基準濃度およびモル質量¹⁾

ガス成分	基準濃度 [mg/m ³]	モル質量 [g/mol]
CO ₂	72,000	44.01
CO	1,380	28.01
HBr	99	80.908
HCl	75	36.458
HCN	55	27.028
HF	25	20.008
NO _x	NO	30.01
	NO ₂	46.01
SO ₂	262	64.07

IV 考察

SDC試験とガス有害性試験のマウスの行動停止時間を比較するために、ガス有害性試験は既往実験の結果を用いた。CIT_G値およびマウスの行動停止時間を行動停止時間が長いものから順に表3に示し、その関係を図3に示す。

表3および図3から、今回の試験体については、計算したCIT_Gの値とマウスの行動停止時間の長短の順番はほぼ同じであることがわかる。これは既報の結果でも同じ傾向が見られた。

しかし、MDF12mmと15mmを比較すると、12mmのCIT_Gの値の方が高い値であるにも関わらず、15mmにおいてマウスがより早く行動停止した。これは、FTIRによりガス成分分析の結果を見ると、どちらもSO₂が生成しており、12mmの方がより高い濃度であるものの、SO₂は刺激性ガスであり、急性ガス中毒においてマウスの行動停止に与

える影響が低いためと考えられる。

表3 着炎・消炎時間、CIT_G値およびマウスの行動停止時間の結果

試験体名	着炎時間 (s)	消炎時間 (s)	CIT _G 値	行動停止時間 (min)
レーヨン壁紙 +せつこうボード9.5mm	86	120	0.06	15
絹壁紙 +せつこうボード9.5mm	91	159	0.09	11.32
PMMA	59	690	0.18	10.77
PVC壁紙 +せつこうボード9.5mm	39	81	0.30	8.39
MDF12mm	75	消炎せず	0.52	7.76
MDF15mm	74	消炎せず	0.40	7.25

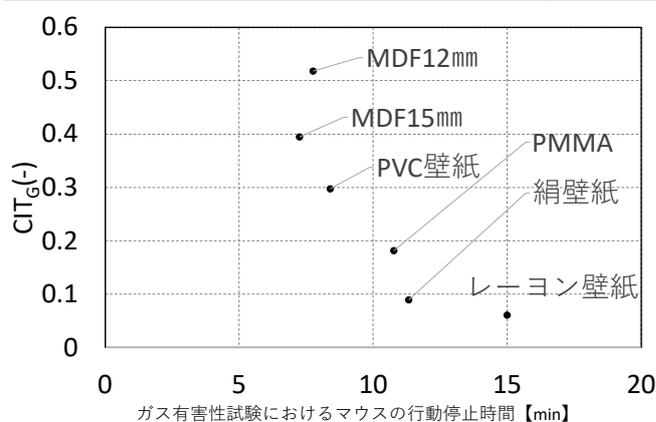


図3 CIT_G値とマウスの行動停止時間の関係

V まとめ・今後の課題

SDC+FTIRを用いて実験を行った。

既報に続き、CIT_G値の大小とガス有害性試験におけるマウスの行動停止時間の長短の順番はほぼ同じであり、ガス有害性試験の代替手法として使用できる可能性がある。今後の課題として、試験体の種類を増やし、本報で得られた知見を確かめるとともに、CIT_G値の計算式の係数や考慮するガス種（刺激性ガスの影響を含む）など、車両火災ではなく建築火災を評価できるものについて検討することである。

参考文献

- 1) EN 17084:2018/AC2020, Railway applications - Fire protection on railway vehicles - Toxicity test of materials and component.
- 2) ISO/TS 19021:2018, Test method for determination of gas concentrations in ISO 5659-2 using Fourier transform infrared spectroscopy.
- 3) ISO 5659-2:2017, Plastics -- Smoke generation -- Part 2: Determination of optical density by a single-chamber test.
- 4) 趙玄素ら：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-その1,2-, 2023年度日本建築学会大会学術講演梗概集
- 5) A. Stec, R. Hull, Fire toxicity, Woodhead Publishing in Materials, 2010

^{*}1 国土技術政策総合研究所, ^{*}2 ベターリビング
^{*}3 東京大学, ^{*}4 建築研究所
^{*}5 東京システムバック

^{*}1 National Institute for Land and Infrastructure Management
^{*}2 Center for Better Living, ^{*}3 The University of Tokyo
^{*}4 Building Research Institute, ^{*}5 Tokyo System Vac.