

東京理科大学「火災安全科学研究拠点」

■ 研究成果概要報告書

研究課題		内装材料の側方火炎伝播速度の測定方法に関する検討	実施年度 2018年度
研究代表者	所属	京都大学大学院 工学研究科 建築学専攻	
	氏名	原田 和典	
	問合せ先メールアドレス	harada@archi.kyoto-u.ac.jp	
共同研究者	氏名・所属・職	仁井大策・京都大学大学院工学研究科建築学専攻・助教	
受入担当責任者	氏名	松山 賢 教授	

1. 研究の背景および目的

現行の内装材料の防火性評価では、コーンカロリメータにより 10cm 角の試料を加熱して着火させ、単位面積あたりの発熱速度を測定し、5分、10分、20分間の累積発熱量が既定値を超えるかどうかで難燃、準不燃、不燃のグレードに分類している。しかし、材料の実使用状態を考えると、内装材料は部屋の中にある大きさを水平あるいは鉛直に設置される。内装材料が着火して燃え広がる場合には、材料の単位面積あたりの発熱だけでなく、燃え広がり速度も安全性に大きく影響する。そのため、本来であれば、単位面積あたりの発熱性と燃え広がり速度（火炎伝播速度）の両者を考える必要がある。現状の内装材料の評価法では、燃え広がり観点が欠落しており、早急にこれを構築する必要がある。

本研究では、内装材料の燃え広がりを定量化するために、ASTM E 1321 に規定されている側方着火火炎伝播装置（Lateral Ignition and Flame Transport apparatus、以下 LIFT 装置と略記する）により横長試料を加熱して火炎伝播速度を測定した。また、並行して、別途行ったコーンカロリメータ試験結果から求めた熱慣性を用いて、LIFT 装置による測定値から火炎伝播パラメータを推定した。この測定を等級（準不燃、不燃、難燃、木材その他）の異なるいくつかの材料について行い、累積発熱量との関係を調べた。

2. 利用施設及び利用日

- ・ LIFT 試験装置 (ASTM E 1321) (2018 年 11 月 19 日 ~ 11 月 21 日)
- ・ // (2018 年 12 月 17 日 ~ 12 月 19 日)
- ・ // (2019 年 3 月 18 日)

3. 実験方法・研究成果、および考察（申請時の計画に対する達成度合いも含む）

3. 1 実験方法

内装材料の燃え拡がり測定法は、諸外国の試験法では種々のものがあるが、主として米国で実績のある LIFT 試験装置 (ASTM E 1321) を用いた[1]。試験装置を図 1 に示す。この装置は、幅 800mm×高さ 155mm の大きさに切り出した内装材料を不均一にガスバーナーで加熱しながら、その一端に着火した時の燃え拡がり速度を目視観察により測定するものである。測定中の状況の一例を図 2 に示す。この写真は、左端の口火で着火して 30cm ほど右向きに燃え拡がった瞬間を捉えている。



図 1 LIFT 試験装置の概要



図 2 試験中の燃焼状態(左から燃え拡がり)
(合板 5.5mm 厚、試験開始から 90 秒後)

測定結果は、左端からの位置 x [m]における時刻 t [s]での有効加熱強度 $q_e(x)F(t)$ と、同位置での燃え拡がり速度 $v_f(x)$ [m/s]との関係として整理される。ここで、有効加熱強度は、試験体への加熱強度 $q_e(x)$ に火炎先端が到達するまでの予熱時間 t による補正係数

$$F(t) = 1 - \exp\left(-\frac{h^2 t}{k \rho c}\right) \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{h^2 t}{k \rho c}}\right) \quad (1)$$

を乗じたものである。ただし、 $k \rho c$ は材料の熱慣性[kW².s/m⁴.K²]、 h は試験体表面と雰囲気温度の間の総合熱伝達率[kW/m².K]である。

火炎伝播速度の平方根の逆数を有効加熱強度に対してプロットすれば、その傾きから火炎伝播指数(Flame spread modulus) C [s^{1/2}m^{3/2}/kW]、横軸切片から着火限界熱流束 q_{cr} [kW/m²]を求めることができる。

$$\frac{1}{\sqrt{v_f}} = C \{q_{cr} - q_e F(t)\} \quad (2)$$

$$C = \sqrt{\frac{k \rho c}{h^2 \phi}} \quad (3)$$

また、燃え拡がりが止まった位置での有効加熱強度から火炎伝播が起こる最小の熱流束

$q_{s,min}$ [kW/m²]を知ることができる。

有効加熱強度の計算のためには、材料の熱慣性が必要になる。そのため、本研究と連動して、同じ材料をコーンカロリメータ（鉛直加熱）で加熱して、加熱強度と着火時間の関係を測定した結果から熱慣性を求めた。この測定は、（一財）日本建築総合試験所の小宮祐人氏、土橋常登氏により行われた。また、LIFT 試験の実施においては、小宮祐人氏がオブザーバー参加した。

[1] ASTM E1321 - Standard Test Method for Determining Material Ignition and Flame Spread Properties

3. 2 研究成果

試験体は、表 1 に示すように、準不燃材料から可燃材料の範囲から選定した。ラワン合板、シナベニア、LVL は無処理の木質材料で可燃材料に区分される。繊維系壁紙、塩ビ壁紙は可燃物量が少ないが、可燃材料または難燃材料に区分されるものである。樹脂板はともに可燃材料であるが、熔融しながら燃えるもの（アクリル）と炭化しながら燃えるもの（塩化ビニル）を選定した。

表 1 試験体の仕様

材質	試験体記号	厚さ (mm)	密度 (kg/m ³)	試験回数	備考
ラワン合板	PlyWood	5.5	511	4	無処理
シナベニア(構造用合板)	PL12	12	498	3	無処理
LVL	N-LVL	15	490	3	スギ材（無処理）
準不燃 LVL	FR-LVL	15	517	1	スギ材（難燃処理） 準不燃
繊維系壁紙 (基材：せっこうボード t9.5)	TX-A	1.2	675	3	植物系繊維(化粧材少, 難燃剤多)
	TX-B	1.2	671	3	植物系繊維+化繊(化粧材多, 難燃剤少)
塩ビ壁紙 (基材：せっこうボード t9.5)	PV-WP	—	—	1	—
塩化ビニル樹脂板	PVC	3	1,385	3	T社製
アクリル樹脂板	PMMA	3	1,195	3	S社製

測定結果のうち、ラワン合板(5.5mm)を図 3 に示す。同一試験体に対して行った 4 回の実験結果は、ほぼ 1 本の線の上に収斂し、試験の再現性は高いことが読み取れる。また、横軸切片より着火限界熱流束は 12.6kW/m²、最も左側にあるデータから火炎伝播が起こる最小の

熱流束は 3.44kW/m^2 となる。回帰直線の傾きから、火炎伝播指数は $6.46\text{ s}^{1/2}\text{m}^{3/2}/\text{kW}$ となる。

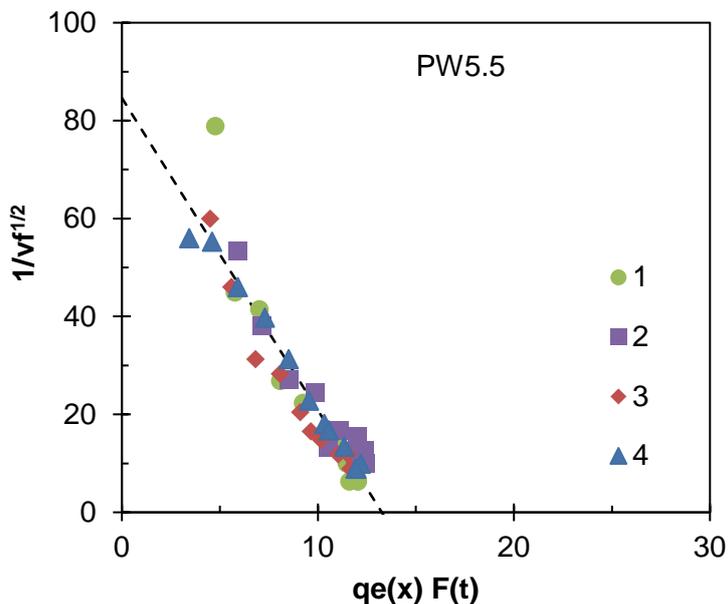


図3 LIFT 試験装置で測定した火炎伝播速度 (ラワン合板 5.5mm)

3. 3 考察

試験を行った材料について、火炎伝播指数 C 、着火限界熱流束 q_{cr} 、火炎伝播が起こる最小の熱流束を求めた。これらの値を、防火材料認定試験の条件と同様に、 50kW/m^2 の加熱強度のコーンカロリメータによる5分間の累積発熱量に対してプロットした。

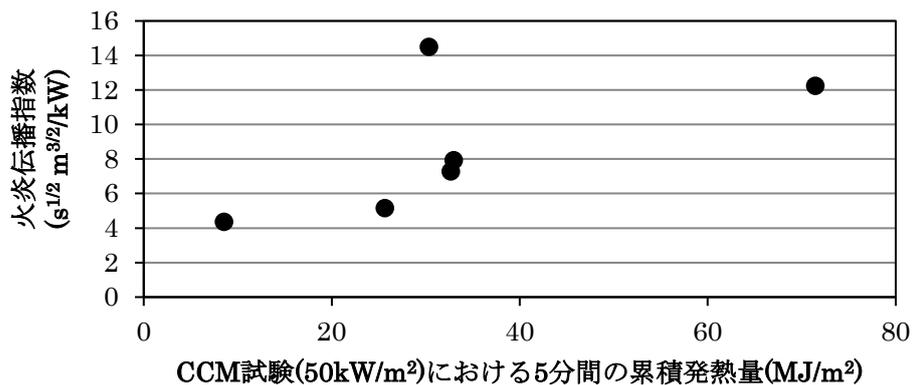


図4 火炎伝播指数と累積発熱量の相関

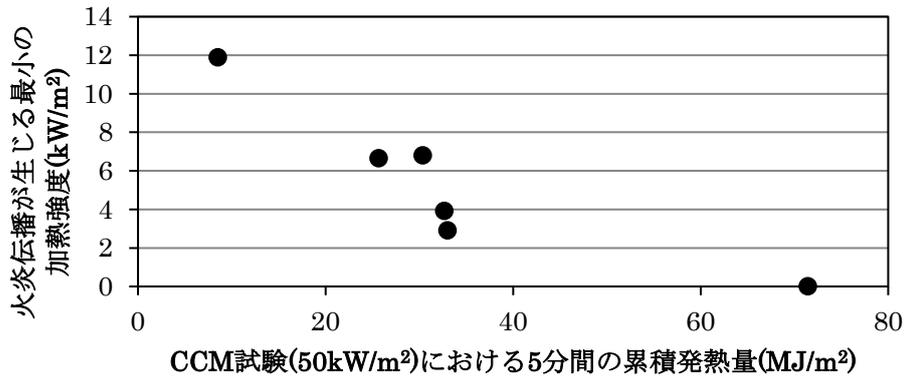


図5 火炎伝播が生じる最小の加熱強度と累積発熱量の相関

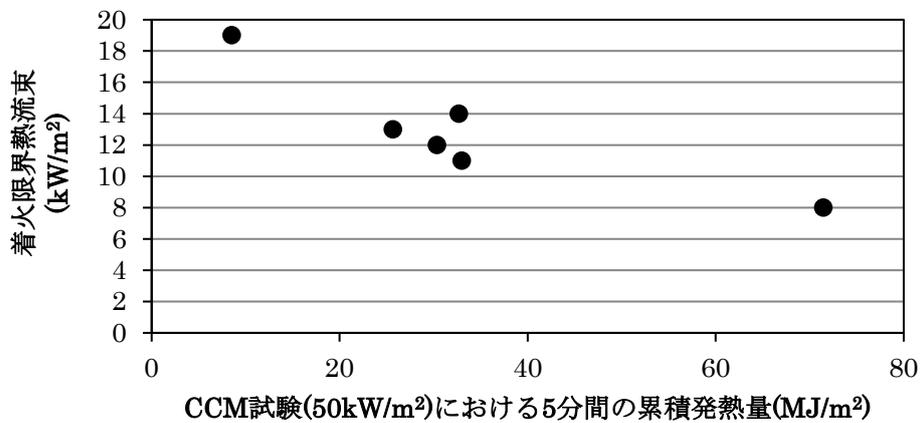


図6 着火限界熱流束と累積発熱量の相関

結果を図4～図6に示す。図4に示すように、累積発熱量が大きなものには火炎伝播指数も大きくなる傾向があるが、相関は必ずしも明確でない。図5の火炎伝播が生じる最小の加熱強度と図6の着火限界熱流束は、累積発熱量に対して負の相関が見られる。これは、良く燃える材料は、着火しやすく、燃え広がりも継続しやすいという一定の傾向があることが示されている。

4. 今後の展望（今後の発展性、見込み等についても記述）

燃え広がりの有無は、燃焼性と並んで内装の火災安全性に関わる重要な性能項目であり、防火材料の評価に組み込む方法を考案する。例えば、Quintiere等により提案され、その後多くの研究者により改良が続けられている内装燃え広がりモデル[1]への適用方法を提案していく。すなわち、コーンカロリメータとLIFT試験装置により、着火性（熱慣性、着火限界）と燃え広がり性（火炎伝播パラメータ、火炎伝播最小温度）を測定し、燃え広がりモデルによる予測がどこまで可能かを調べる必要がある。

次年度（2019 年度）は、そのための理論的研究を行うことを考えており、共同利用研究（実験）の申請は行わないが、理論的見通しが立った段階で燃え拡がりモデルの検証のための実験を行い LIFT 試験との相関を調べる研究を進めていく予定である。

[1] Quintiere J. G., Fire Safety Journal, 20 (1993) 313-339

5. 成果の公表状況（学会への発表，学術誌への投稿等を記述。予定も含む）

研究成果の一部は、日本建築学会大会大会（2019 年 9 月 3～6 日）において発表する予定である。

原田 和典、松山 賢、小宮 祐人、仁井 大策、土橋 常登、鍵屋 浩司、LIFT 試験装置による側方燃え拡がり速度の測定 [資料添付]

また、その他の部分については、fire science and technology 誌等への投稿を検討する。

6. 経費の使用状況

消耗品費・会議費・印刷費等		旅費		人件費	
事 項	金額(円)	事 項	金額(円)	事 項	金額(円)
試験体	118,800	客員宿舎	49,000		0
		交通費	149,270		
小計	118,800	小計	198,270	小計	0
東京理科大学 負担分 総計 317,070 円					

上記以外 京都大学負担分 総計 117,653 円(旅費 108,700 円, 消耗品 8,953 円)

以上

※ページは適宜増やしてください。

※上記 5 に記載された成果公表については、別刷 1 部をご提出願います。PDF ファイル等の電子データでも構いません。

※本成果報告概要書に記載された内容は、本拠点の成果報告として Web 等で公開されることをお含み置き下さい。

※本成果報告概要書と併せて、研究報告書を提出頂いても構いません。（フォーマットは問いません。）

※後日開催予定の成果発表会で使用されるプレゼンテーション用の電子ファイルについても提出願います。