

木質材料用難燃塗布材の開発

若山 恵英*¹・梅森 浩*²

Keywords : Flame-retardant timber, flame-retardant coating, Cross-Laminated-Timber (CLT), quasi-non-flammable

難燃木材, 難燃塗料, CLT:直交集成板, 準不燃

1. はじめに

公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律が制定されて約 10 年が経過し、公共建築物を中心に多くの木造、木質化建築物が建設されるようになり、民間建築物でもその傾向は高まりつつある。また、2021 年 6 月には木材利用促進の対象を公共建築物から、民間建築物を含めた建築物一般に拡大するための法改正に基づき、「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」として、2021 年 10 月 1 日に施行されたことをうけ、今後ますます木造、木質化建築物の建設が加速すると思われる。

建築基準法では建物の規模・用途・構造などの条件に応じて、発生する熱や煙が避難の妨げにならないように壁や天井の内装に制限を設け(内装制限)、燃えにくい材料の使用を義務づけている。木材を多用する場合は内装制限に適合させるため、木材に難燃薬剤を加圧注入した難燃木が利用されることが多い。しかしながら、この方法はコストが嵩むことに加え、装置サイズ以上の木材には適用できないことが大きな課題となっている。特に近年利用が盛んになってきている CLT (Cross Laminated Timber) 等の大きなサイズの木材には含浸処理は難しく、薬剤を加圧含浸した薄い難燃木材等を上貼りする方法等が施されることが多く、コスト面だけでなく施工手間の増加とともに、本来 CLT が持つ豊かな木目の表情が隠れてしまうことも課題となっている。

内装制限に適合する材料は、その防火性能によって、不燃材料、準不燃材料、難燃材料に区分され、その性

表-1 防火材料区分

Table 1 Fire Protection Material Classification

材料区分	試験時間	基準	試験規格
難燃材料	5分	①総発熱量: 8MJ/m ² 以下 ②発熱速度: 発熱速度が、10 秒以上継続して 200kW/m ² を超えない ③防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がない	ISO 5660- 1:2002
準不燃材料	10分		
不燃材料	20分		

能評価の一つとして、コーンカロリメータを用いた発熱性試験が行われる。表-1に発熱性試験による防火材料区分、性能基準を示す。本報告では、加圧含浸法による難燃薬剤の注入ではなく、木材表面に塗布するのみで難燃性能が期待できる塗布材を施した各種木材に対して、防火性能の評価を発熱性試験により行った結果に関して示す。

2. 実験および結果

2.1 実験-1 (既存材料との比較)

試験に供した塗料は、塗布するのみで防火性能が期待できる市販の塗料: A と難燃性能の向上を図った試作塗料: B の 2 種類を準備した。各々の塗料は基材 (スギ製材: 99 mm×99 mm×20 mm, 含水率 20%以下) に塗布後、常温で 1 週間以上乾燥後、試験体①および②とした (表-2)。

各試験体は、23°C, 50RH%で養生後、塗膜の外観の確認および発熱性試験を実施した。外観の透明性、塗

表-2 試験体 (実験-1)

Table 2 Test Samples (Exp.-1)

試験体	基材	密度	塗布材/ 塗布量 (kg/m ²)	主成分
①	スギ製材 99mm×99mm×20mm	0.36	A/0.15	難燃剤、油脂、顔料
②	含水率:20%以下	0.34	B/1.0	難燃剤、樹脂、顔料

* 1 技術センター 先進技術開発部 次世代建設技術開発室 * 2 設計本部 先端デザイン部

膜均一性に関しては目視にて観察し、発熱性試験は、ISO 5660-1:2002¹⁾ に準拠しコーンカロリメータを用いて10分間の加熱を実施した。

2.2 結果-1 (既存材料との比較)

試験体①および②の評価結果を以下に示す。まず塗膜の外観に関しては、写真-1に示すように、試験体①および②いずれも基材であるスギ材の木目が視認可能で透明性に問題はなく、塗膜表面の塗布ムラ等も生じておらず良好な表面状態であった

コーンカロリメータを用いた10分間の発熱性試験の結果を表-3に示す。

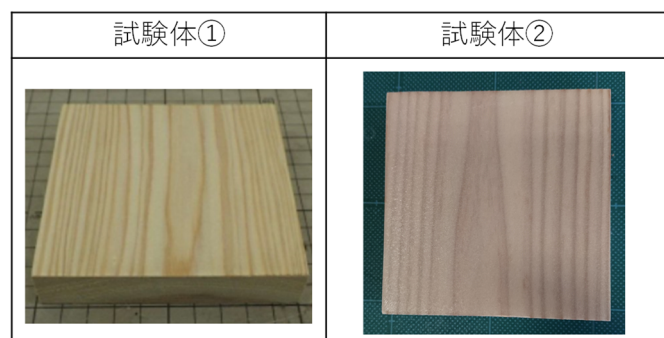


写真-1 試験体①②塗布後状況
Photo.1 Wood surface after painting ① and ②

表-3 試験体①②の発熱性試験結果 (10分)
Table 3 Results of the corn calorie test (10 minutes) of samples ① and ②

試験体	塗布材	総発熱量 (MJ/m ²)	最大発熱速度 (kW/m ²)	亀裂・穴
①	A	42.0	84.3	裏面まで貫通する亀裂及び穴がなし
②	B	4.2	60.0	裏面まで貫通する亀裂及び穴がなし

いずれの試験体も最大発熱速度は200kW/m²以下であり、裏面まで貫通する亀裂及び穴は確認されなかったが、防火性能が期待できる塗布材 A を塗布した試験体①は、10分間の総発熱量が、8MJ/m²を超え準不燃材料の基準を満たすことができなかった。一方、難燃性能の向上を図った試作塗布材 B を塗布した試験体②は、4.2MJ/m²であり準不燃材料の基準を満たした。

2.3 実験-2 (CLT への適用)

塗布するだけで、防火性能が期待できる塗布材 B を CLT に適用可能か否かの検討を行った。

試験体は、表-4に示すように、基材には12mm厚のラミナー (含水率15%以下) の3層3プライの木板の

表-4 試験体 (実験-2)
Table 4 Test Samples (Exp.-2)

試験体	基材	密度	塗布材/塗布量 (kg/m ²)	主成分
③	スギCLT 99mm×99mm×36mm (12mmt 3層3プライ)	0.41	なし	
④	含水率:15%以下	0.42	C/0.6	難燃剤、樹脂、顔料

CLT (1820mm×910mm×36mm, 積層接着剤:水性高分子イソシアネート系, 幅はぎ接着剤:水性高分子イソシアネート系) から切り出した木片を用い、塗布材は実験-1で用いた塗布材 B の作業性を一部向上させた塗布材 C を表面に0.6 kg/m²塗布した試験体④と未塗布の試験体③を準備した。試験体の塗布材の乾燥および発熱性試験は、実験-1と同様の条件で実施した。

2.4 結果-2 (CLT への適用)

各試験体の発熱性試験前後の状況を表-5に示す。また、発熱性試験の結果を表6, 図-1および図-2に示す。

塗布材 C を塗布した試験体④は、塗布材未塗布の試験体③と比較すると若干白みを帯びた色味となるが、CLT 表層の木目ははっきりと視認できることがわかる。

発熱性試験後の試験体の表面は未塗布の試験体③では表面の炭化が進み裏面までは達していないが複数の

表-5 発熱性試験前後の試験体表面の状態
Table 5 Morphology of the sample surface before and after the heating test

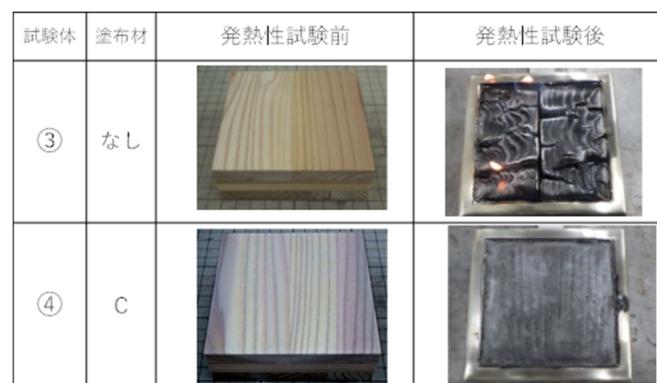


表-6 試験体③④の発熱性試験結果 (10分)
Table 6 Results of the corn calorie test (10 minutes) of samples ③ and ④

試験体	塗布材	総発熱量 (MJ/m ²)	最大発熱速度 (kW/m ²)	亀裂・穴
③	なし	41.3	158.7	裏面まで貫通する亀裂及び穴がなし
④	C	2.7	54.4	裏面まで貫通する亀裂及び穴がなし

亀裂が見られた。一方塗布材 C を塗布した試験体④は表層に黒灰色の層が形成され大きな亀裂等は見られなかった。

発熱性試験の結果は、未塗布試験体の③は試験開始30秒ほどで大きな炎が上がりその後炎は消えることなく試験終了まで燃え続けた。一方塗布材 C を塗布した試験体④では、30秒ほどで一度炎が上がるが、その後炎は弱くなり大きな炎は見られず、10分の総発熱量は

2.7MJ/m², 最大発熱速度は 54.4kW/m² となり, 準不燃材料の性能基準を満たす結果となった。これらの値は, 最大発熱速度はおおよそ半減し, 総発熱量は 1/10 以下に低減できる結果となった。

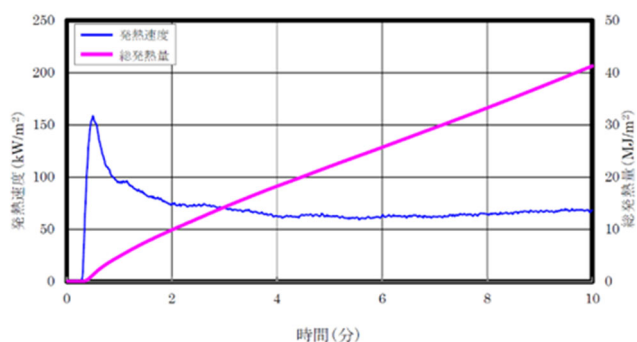


図-1 発熱速度および総発熱量 (試験体③)

Fig.1 Rate of heat generation and total heat generation (Sample③)

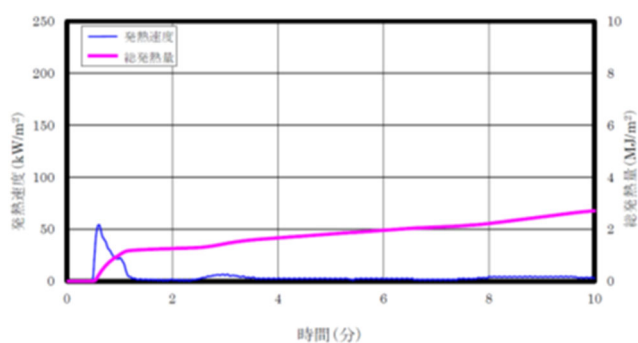


図-2 発熱速度および総発熱量 (試験体④)

Fig.2 Rate of heat generation and total heat generation (Sample④)

2.5 実験-3 (樹種の違いによる防火性能)

基材の樹種はスギ, ヒノキ, ベイマツ, カラマツとし, 寸法は 99mm×99mm×20mm とした。各樹種の密度を表-7に示す。これらの各基材に対して難燃塗布材 C (主成分: 難燃剤, 樹脂, 顔料) を 0.6 kg/m² 塗布し, 常温で 1 週間以上乾燥させたものを試験体とし, 試験体記号にはそれぞれ SG20-C-1, HN20-C-1, BM20-C-1, KM20-C-1 を付した。

各試験体は, 23℃, 50RH%で養生後, 塗膜の外観の確認および発熱性試験を実施した。外観の透明性, 塗膜均一性に関しては目視にて観察し, 発熱性試験は, ISO 5660-1:2002 に準拠しコーンカロリメータを用いて 10 分間の加熱を実施した。

表-7 基材の密度

Table 7 Density of base wood

樹種	スギ	ヒノキ	ベイマツ	カラマツ
密度 (g/cm ³)	0.39	0.42	0.54	0.57

2.6 結果-3 (樹種の違いによる防火性能)

2.6.1 塗膜外観

試験前後の試験体表面の状態を表-8に示す。試験前の塗膜の外観に関しては, 各試験体共に, 基材の木目が視認可能で透明性が確保されている。塗膜表面の塗布ムラ等も生じておらず概ね良好な表面状態であった。

表-8 発熱性試験前後の試験体表面の状態

Table 8 Morphology of the sample surface before and after the heating test

試験体記号 (樹種)	試験前	試験後
SG20-C-1 (スギ)		
HN20-C-1 (ヒノキ)		
BM20-C-1 (ベイマツ)		
KM20-C-1 (カラマツ)		

2.6.2 発熱性試験結果

コーンカロリメータを用いた 10 分間の発熱性試験の結果を表-9に, 各試験体の発熱速度および総発熱量を図 3~6 にそれぞれ示す。

表-9 発熱性試験結果

Table 9 Results of the corn calorie test (10 minutes)

試験体記号	質量 (g)	総発熱量 (MJ/m ²)	最高発熱速度 (kW/m ²)
SG20-C-1	79.0	5.5	46.95
HN20-C-1	88.9	5.9	59.02
BM20-C-1	108.0	6.2	38.02
KM20-C-1	116.8	5.4	40.34

いずれの試験体も最大発熱速度は 200kW/m² 以下であり, 裏面まで貫通する亀裂及び穴は確認されなかった。また, 総発熱量が 8MJ/m² を超えるものはなく, 全ての樹種において準不燃材料の基準を満たしている。

各試験体の主な経過を以下に示す。

(1) SG20-C-1

開始後 21 秒で試験体表面から大きな火柱が立つがその後数十秒で部分的な炎となり、炎の領域および大きさが徐々に縮小した。その後指先程度の大きさの炎のみとなり試験終了を迎えた。総発熱量は 5.5MJ/m²、最高発熱速度は 43.95kW/m²であった。

(2) HN20-C-1

開始後 26 秒で試験体表面から大きな火柱が立ち、その後は概ね SG20-C-1 と同様の経過を辿った。総発熱量は 5.9MJ/m²、最高発熱速度は 59.02kW/m²であった。

(3) BM20-C-1

開始後 26 秒で試験体表面から大きな火柱が立ち、33 秒で鎮火したが、148 秒でイグナイター直下に指先程度の炎が出現し、400 秒前後に左側面枠付近にも指先程度の炎が出現した。総発熱量は 6.2MJ/m²、最高発熱速度は 38.02kW/m²であった。

(4) KM20-C-1

開始後 29 秒で試験体表面から大きな火柱が立ち、37 秒で鎮火し、137 秒で指先程度の炎が出現した。総発熱量は 5.4MJ/m²、最高発熱速度は 40.34kW/m²であった。

2.6.3 樹種の違いによる防火性能

今回実施した発熱性試験から、各試験体共に試験開始後 20~30 秒程度で最初の着火が起こり、その数秒~数十秒後に鎮火または炎が縮小するし、鎮火した試験体は再着火して小さい炎が発生して試験終了を迎える結果を得た。図 3~6 に示す発熱速度と総発熱量のグラフの推移を見ると、スギとヒノキは最高発熱速度がやや大きく、その結果として総発熱量のグラフが初期的にはやや上に凸となる傾向を示した。カラマツとベイマツの総発熱量のグラフは初期的段階からほぼ直線的に推移している傾向が見られた。試験終了後の試験体表面の炭化状況は樹種の違いと言うよりも、木目の状況によるところが大きいと思われる。細かい違いはあるが、概ねばらつきの範囲と捉えても差し支えないと考える。

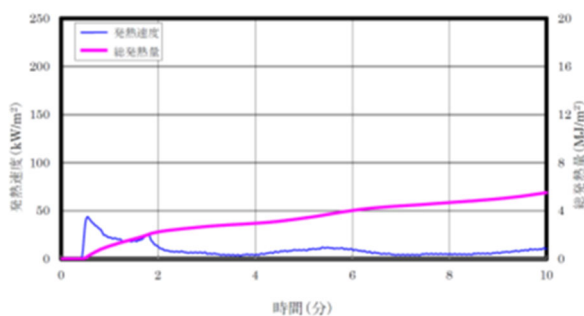


図-3 発熱速度および総発熱量 (SG20-C-1)

Fig.3 Rate of heat generation and total heat generation (SG20-C-1)

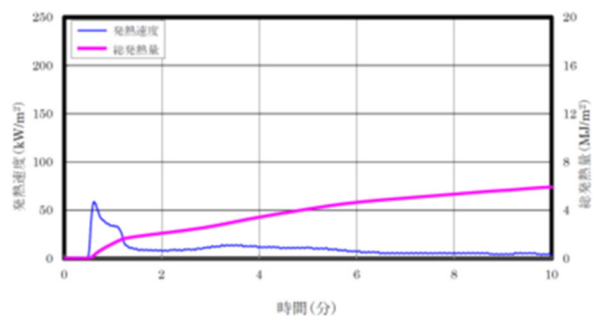


図-4 発熱速度および総発熱量 (HN20-C-1)

Fig.4 Rate of heat generation and total heat generation (HN20-C-1)

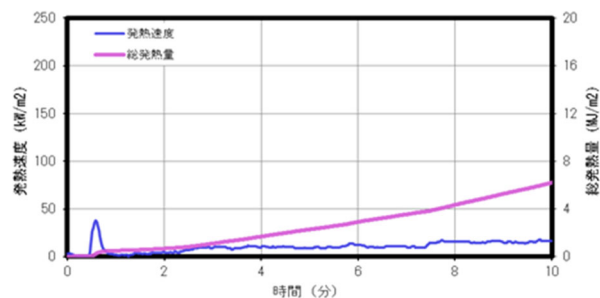


図-5 発熱速度および総発熱量 (KM20-C-1)

Fig.5 Rate of heat generation and total heat generation (KM20-C-1)

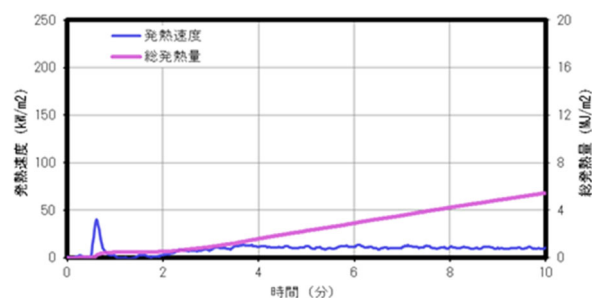


図-6 発熱速度および総発熱量 (BM20-C-1)

Fig.6 Rate of heat generation and total heat generation (BM20-C-1)

3. まとめ

防火性能を向上させた塗布材を開発し、スギ CLT 表面に塗布し、発熱性試験を実施した。その結果、準不燃性材料の基準を満たすことを確認した。

またスギ、ヒノキ、カラマツ、ベイマツの表面に塗布し、発熱性試験を実施した。その結果、樹種の違いによる防火性能の顕著な差異は少なく、全ての試験体において準不燃性材料の基準を満たす結果が得られた。

参考文献

- 1) ISO 5660-1:2002 Reaction to fire tests. — Heat release, smoke production and mass loss rate —. Part1: Heat release rate(cone calorimeter method).