

木質材料用難燃塗布材の LVL 薄板への適用

若山 恵英*¹・梅森 浩*²・小澤 重治*²・鹿毛 俊彦*³・砂川 凌摩*¹

Keywords : fire-retardant wood, quasi-noncombustible material, efflorescence, LVL, wood utilization

防火木材, 準不燃材料, 白華, LVL, 木材利用

1. はじめに

近年, 地球環境問題への意識の高まりや持続可能な社会の実現を目指す動きが進展する中, 木材は再生可能な資源として注目を集めている。特に日本においては, 森林資源が豊富であることから, 木材の利用促進が国の政策として位置付けられており, 木造や木質化の建築物が増加している。木材はその自然な風合いや優れた断熱性および CO₂ 固定化の意味で, 多くの建物の内装材として活用されている。さらに令和 3 年に国の法律「公共建築物等木材利用の促進に関する法律」が「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」として改正され, 木材利用促進の対象が公共建築物から民間建築物を含む建築物全般に拡大され, 法の対象も公共建築物から建築物一般に拡大された。これらのことから, 今後, ますます木造木質化の動きは加速するものと思われる。

いっぽうで木材の利用拡大に伴い, 火災時の安全性を確保することが重要な課題となっている。建築基準法では, 火災時の避難の妨げの防止の観点から, 公共性の高い建物等では内装材に燃えにくい材料を使用することが求められており, 内装制限として定められている。木質系内装材は内装制限に対応するための技術開発が進められている。その開発の一つとして, 筆者らは木材に難燃性を付与する塗布材を開発し, 内装制限に対応する方法をすでに見出している^{1~3)}。本研究では, 木質建材の一種の単板積層板 (LVL : Laminated Veneer Lumber) を内装表面に難燃塗布材を活用することを想定し, 耐水性を有する難燃塗布材を LVL 表面に

塗布し防火性能の評価した。さらに, 木質材料が高湿度環境下に置かれた際に発生する白華や潮解現象の影響についても検証を行い, 白華, 潮解が促進される高湿度環境下に曝した際の表面の状態の変化と発熱性試験結果に関して報告する。

2. 実験

2.1 試験体

試験体は LVL を基材とし樹種はカラマツとし, 表面に耐水性を有する難燃塗布材を施した。難燃材を塗布した試験体の塗布量は 800g/m² とし, 試験体を温度 23°C±2°C, 相対湿度 50%±5% で 1 週間以上乾燥させたものを試験体とした。試験体の仕様を表-1 に示す。

表-1 試験体仕様

Table 1 Sample Specifications

基材			塗布材		
樹種	材種	基材厚	塗布面	タイプ	塗布量
カラマツ	LVL	15mm	積層面	耐水性向上	800g/m ²

2.2 発熱性試験方法

基材寸法は 99mm×99mm×15mm とした。また, 評価する表面は積層用の接着剤の露出が大きな積層断面とした。試験体は養生後, 塗膜の外観の確認および発熱性試験を実施した。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。

2.3 ガス有毒性試験方法

ガス有害性試験は, 加熱炉, 攪拌箱, 被検箱, 回転かご, マウス行動記録装置から構成される装置を用い, 防耐火性能試験・評価業務方法書に記載される方法に基

* 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

* 3 建築本部 技術部

づいて試験を実施した。加熱を始めてからマウスが行動を停止するまでの時間を個々のマウス毎に、加熱開始後 15 分を経過するまで記録し、マウスの行動平均停止時間 X_s を式 (1) から算出した。

$$X_s = \bar{X} - \sigma \quad (1)$$

\bar{X} : 8 匹のマウスの行動停止までの時間 (マウスが行動を停止するに至らなかった場合は 15 分とする。) の平均値 (単位: 分)
 σ : 8 匹のマウスの行動停止までの時間 (マウスが行動を停止するに至らなかった場合は, 15 分とする。) の標準偏差 (単位: 分)

2.4 高湿度環境試験

2.4.1 高湿度下での表面状態変化

白華, 潮解を促進させる高湿度環境下の操作としては, 長時間の高湿度試験は表-2 に示す 3 条件を連続的に実施し 10 日間高湿度下に試験体を暴露した。さらに乾湿の繰返し試験は, 表-3 に示す(公財)日本住宅・木材技術センターが標準化した AQ 認証 (優良木質建材等認証) に準拠した条件で行った。

ただし, 本実験では暴露試験後に発熱性試験を実施するため, 小口面のシールは行わなかった。なお, いずれの試験も LVL の塗装面が垂直になる様に恒温恒湿器内に設置した (写真-1)。高湿度環境下で暴露および乾

表-2 長時間の高湿度条件

Table 2 High-humidity condition for long term

条件	温度	湿度	時間
1	23°C	70%	72時間
2	23°C	80%	72時間
3	23°C	90%	96時間

表-3 乾湿繰返し試験

Table 3 Dry and wet cycle test

条件	温度	湿度	時間
1	40°C	90%	24時間
2	60°C	—	24時間

上記を 1 サイクルとして × 5 サイクル 240時間実施



写真-1 高湿度下での試験状況

Photo.1 Testing under high humidity conditions

湿繰返し暴露した各試験体の表面状態の外観確認を実施した。

2.4.2 高湿度環境暴露後の発熱性試験

外観観察後の試験体は乾燥後, 発熱性試験を実施した。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 分間の加熱で実施し, その性能を評価した。

3. 結果及び考察

3.1 発熱性試験結果

各試験体の発熱性試験結果を表-4, 試験前後の試験体表面の状態を図-1, 各試験体の試験開始から終了までの発熱速度および総発熱量を図-2~4 に示す。各試験体とも加熱後約 17 秒で着火し, 約 32 秒で火は消えた。その後 2~3 分後に再着火するが, わずかな発熱速度のまま着火が継続し 10 分間の加熱終了迄続いた。試験後の試験体に亀裂や大きな変形は生じなかった。3 試験体とも建築基準法上の準不燃材料の基準 (10 分間の加熱で 8.0MJ/m²以下) を満たした。

表-4 発熱性試験結果件

Table 4 Results of heat release test

	総発熱量(MJ/m ²)	最高発熱速度 (kW/m ²)	最高発熱速度が200kW/m ² を超えた時間 (秒)	
規定値	8以下	200以下	10以下	
試験体	A	3.2	120.3	0
	B	3.6	111.6	0
	C	6.7	123.6	0
平均	4.5	118.5	0	

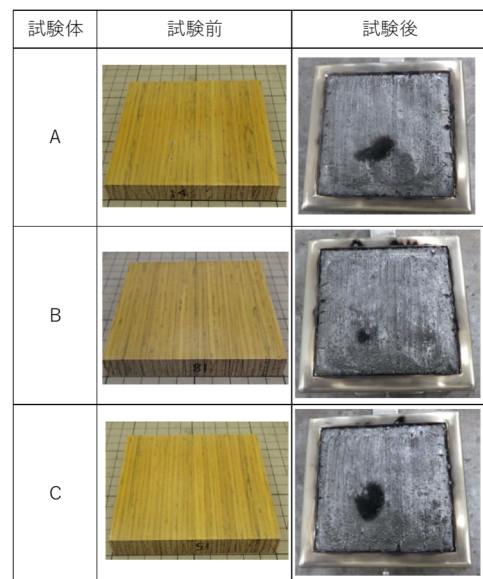


図-1 試験前後の試験体表面の状態

Fig. 1 Surface morphology of test samples before and after testing

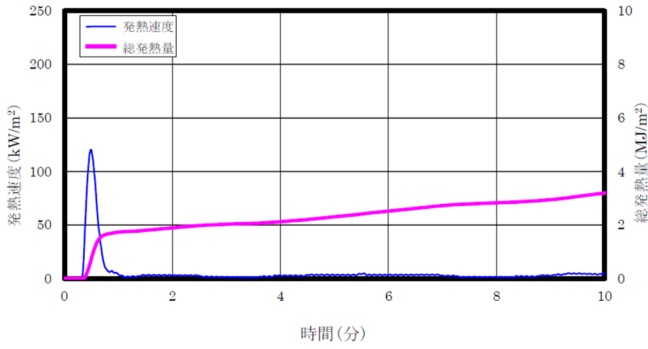


図-2 発熱速度および総発熱量 (試験体 A)

Fig.2 Heat release rate and total heat release (Sample A)

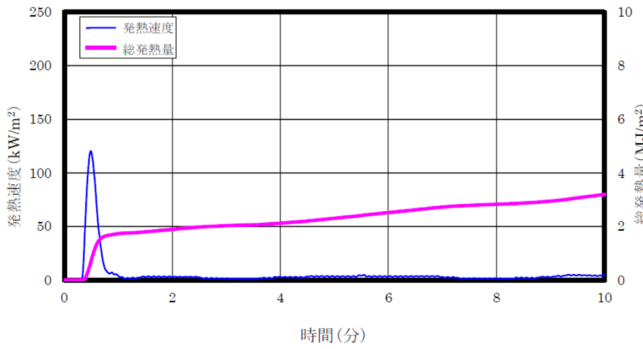


図-3 発熱速度および総発熱量 (試験体 B)

Fig.3 Heat release rate and total heat release (Sample B)

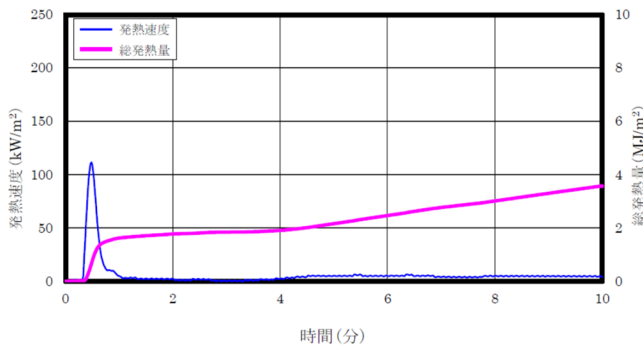


図-4 発熱速度および総発熱量 (試験体 C)

Fig.4 Heat release rate and total heat release (Sample C)

3.2 ガス有毒性試験結果

ガス有毒性試験は、G-A および G-B の 2 体の試験体で実施した。試験結果を表-3 に示す。いずれも加熱 15 分経過後に行動が停止したマウスは 0 匹であり、行動平均停止時間 X_s は 15 分となった。この値は建築基準法上の準不燃材料の基準 (X_s :6.8 分以上) を満たした。また試験後の試験体の写真を写真-2 に示すが、ガス有害性試験では、試験体を垂直に設置し下方から火炎をあてる方法がとられる。写真-2 から試験終了後も塗膜の剥離や脱落が生じなかったことが分かる。

表-4 ガス有害性試験結果

Table 4 Combustion toxicity test results

規定値	試験体厚[mm]	マウスの行動		
		X [分]	σ [分]	X_s [分]
	—	—	—	6.8
試験体 G-A	15.4	15.00	—	15.00
試験体 G-B	15.5	15.00	—	15.00

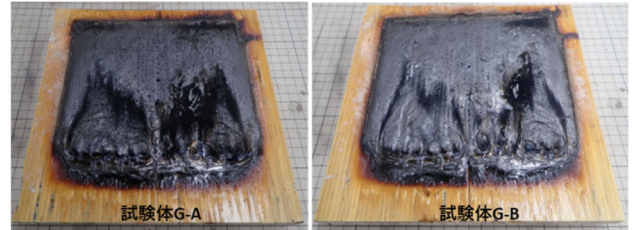


写真-2 ガス有害性試験後の試験体

Photo.2 Appearance of sample after combustion toxicity testing

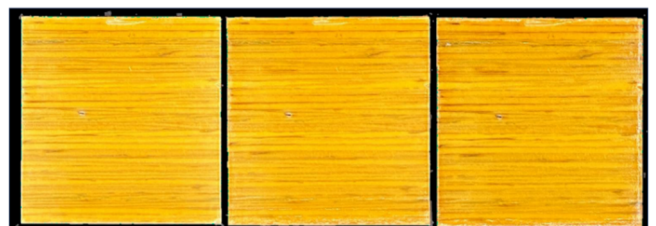
3.3 長時間の高湿度条件

高湿度下での長時間暴露した試験体は、各試験時間でいずれも顕著な潮解や白華現象は認められず、試験終了後乾燥しても白華等の現象は認められなかった。つまり薬剤を加圧注入して製造される難燃木材に見られる様な現象は認められなかった。ただし、試験体端部はごくわずかに白く変色がみられた。この原因としては端部からの水分の浸入により僅かな色の変化が生じたものと考えられる。試験前後の表面状態を写真-3 に示す。



写真-3 長時間の高湿度試験後の試験サンプル表面

Photo.3 Surface of test sample after long-term high humidity testing



試験前 1サイクル終了後 5サイクル終了後

写真-4 乾湿試験の試験体表面の状態

Photo.4 Surface of test sample after dry and wet cycle testing

3.4 乾湿繰返し試験結果

乾湿繰返しの条件で暴露した試験体は、各サイクルでいずれも顕著な潮解や白華現象は認められず、高湿度で長時間暴露した試験体表面と同様の結果となった。写真-4 に乾湿繰返しの試験前、試験後（1 サイクル、5 サイクル）の表面状態を示す。

3.5 高湿度環境曝露後の発熱性試験結果

表-2 に示す 3 条件を連続的に実施し 10 日間高湿度下に曝した試験体を乾燥後、コーンカロリメータを用いて、発熱性試験を実施した。その結果を図-5 に示す。試験後の試験体に亀裂や大きな変形は生じなかった。また、最高発熱速度が 10 秒を超えて連続して 200kW/m² を超えることも 10 分間の加熱における総発熱量が 8.0MJ/m² を超えることもなく、建築基準法上の準不燃材料の基準を満たすことが確認された（図-5）。また同様

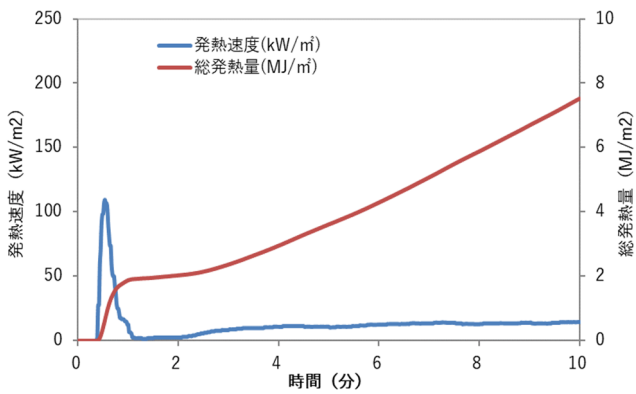


図-5 発熱速度および総発熱量（高湿度長時間）

Fig.5 Heat release rate and total heat release (long-term high humidity conditions)

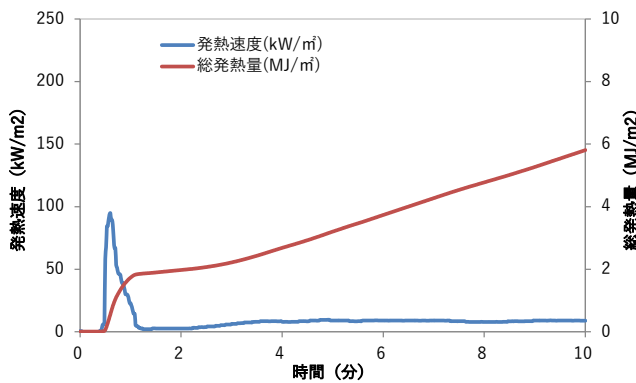


図-6 発熱速度および総発熱量（乾湿繰返し試験）

Fig.6 Heat release rate and total heat release (dry and wet cycle testing)

に乾湿繰返し試験条件で暴露した試験体においても、建築基準法上の準不燃材料の基準を満たすことが確認された（図-6）。

4. まとめ

内装用途に用いられる積層面を仕上内装面に用いる薄板 LVL に難燃塗布材を適用した。

国土交通大臣認定試験に準拠した発熱性試験、ガス有害性試験を実施した。

- ・発熱性試験は、総発熱量 8.0MJ/m²以下が確認され、ガス有害性試験においてもマウスの行動平均停止時間 Xs15.0 分で、基準の 6.8 分を超える結果となり、準不燃材料の基準を満たすことが確認された。

さらに、白華、潮解を促進させるため、長時間の高湿度環境および乾湿繰返し試験を実施した。その結果以下の知見を得た。

- ・高湿度下の長時間暴露した試験体は、各試験時間でいずれも顕著な潮解や白華現象は認められなかった。
- ・乾湿繰返しの条件で暴露した試験体は、各サイクルでいずれも顕著な潮解や白華現象は認められなかった。
- ・高湿度下での長時間暴露後および乾湿繰返し後の試験体の発熱性試験の結果、いずれも建築基準法上の準不燃材料の基準を満たすことが確認された。

謝辞

本研究開発を進めるにあたり、多大なるご支援と専門的なアドバイスをいただきました大日本塗料(株)、信越化学工業(株)、越井木材工業(株)、(株)キーテックの関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 若山ら、木質材料用難燃塗布材の開発(1)~(3)、日本建築学会大会(北海道)梗概集、P705、2022
- 2) 若山ら、木質材料用難燃塗布材の開発(4)、日本建築学会大会(近畿)梗概集、P725、2023
- 3) 若山ら、木質材料用難燃塗布材の開発(9)、日本建築学会大会(関東)梗概集、P849、2024