

難燃薬剤処理木質材料の性能に関する研究

—その3 白華割合と防火性能の関係について—

日大生産工(院) ○中菌 聖子
日大生産工 永井 香織

1. はじめに

近年、SDGsや環境問題から木材利用が推進され、一定の性能基準を満たせば「不燃材料」として大臣認定されるようになった。2021年には「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」¹⁾が公布され、建物の内外装や構造体への使用が増加している。

近年様々な機能性木材が開発されており、その中の一つに燃えにくい薬剤を木材内へ注入した難燃薬剤処理木質材料（以下、難燃処理木材と示す）がある。しかし、2018年に難燃処理木材に白華が発生し、白華の影響により防火性能が低下しているデータが公益財団法人日本住宅・木材技術センターより発表²⁾された。

既往の研究により、難燃処理木材が高湿度雰囲気下に長時間晒されると、木材内の薬剤が吸湿して表面から溶脱し、乾燥とともに白華する事例が見られ美観性能、防火性能の低下が懸念³⁾されている。

本研究は、難燃処理木材の性能把握を目的とし、様々な環境下での実験を行っている。

本報告は防火性能に大きな影響を与えるとされる白華に着目し、白華発生要因の1つである難燃処理木材中の水分移動に伴う白華現象と薬剤の溶脱に着目し、乾湿条件を種々変えた環境下での白華割合と防火性能の関係について検討したものである。

2. 実験方法

2.1 供試体

供試体に用いた難燃処理木材は、大臣認定を取得した製造業者がスギ材に表1に示す3種類の難燃薬剤を減圧加圧注入して製造したものを入手し、これを表2に示すように寸法30mm×30mm、厚さ15mmの矩形に加工したものである。

表1 供試体種類

記号	樹種	薬剤	注入方法
A	スギ	リン酸アミノ樹脂系	減圧加圧注入
B		ホウ酸リン酸アンモニウム系	
C		リン酸アンモニウム系	

表2 供試体形状・寸法(mm)

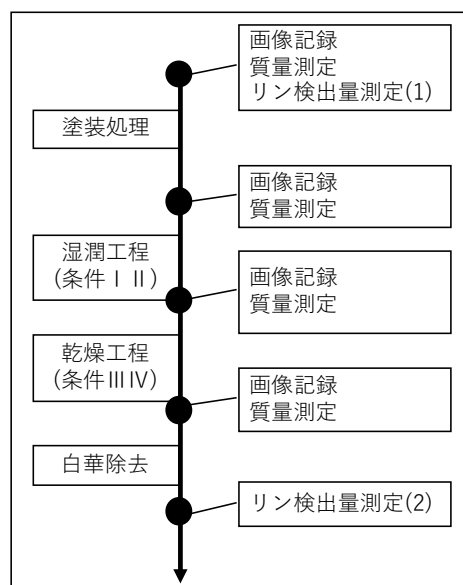
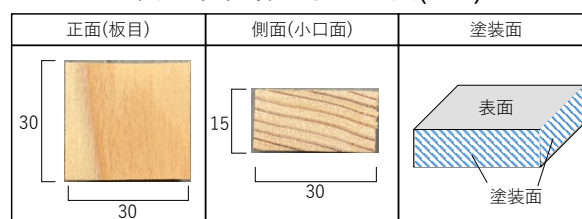


図1 実験の流れ

表3 乾湿条件

条件	工程	養生空間	温度(°C)	湿度(%)	時間(h)
I	湿潤	恒温恒湿槽	30	90	24
II		水中	20	—	
III	乾燥	恒温恒湿槽	40	80	
IV				20	

Research on the performance of fire-retardant treated wood materials
—Part3 Relationship between the efflorescence
and Fire Protection Performance—

Seiko Nakazono and Kaori Nagai

本報告は難燃処理木材中の水分移動が注入した薬剤の溶脱および白華に及ぼす影響を検討するため、表2に示すように供試体の板目を開放し、他の5面を塗装した。使用した塗料は、市販の浸透系の水性塗料を2度塗りした。供試体数は各試験条件について3個とした。

供試体は、実験前に温度20℃湿度65%の室内で長時間静置した。

2.2 供試体の乾湿方法

乾湿条件を表3に示す。湿潤と乾燥の組み合わせは以下の通り。

湿潤 I → 乾燥 III

湿潤 I → 乾燥 IV

湿潤 II → 乾燥 III

湿潤 II → 乾燥 IV

実験の手順を図1に示す。供試体の質量およびリンの検出量はステージごとに測定した。

湿潤工程は、白華発生の傾向を把握するため表3に示す I II の2条件とした。

条件 I は、高湿度暴露操作の既往の研究⁴⁾を参考に温度30℃、湿度90%とした。湿潤状態は、恒温恒湿装置 (N社製LH33-13P) を用いて行い、装置内のスタンドに平置きした。

条件 II は、20℃65%の室内にて、容器内に水を張り、供試体表面(板目)を水中に浸け行った。時間はいずれも24時間とした。

乾燥工程は、表3に示す条件 III IV の2条件とした。湿度が白華発生に影響すると考慮し、乾燥が進む湿度20%と湿った状態の80%とした。なお温度は一定とし、行った。時間はいずれも24時間とした。

2.3 測定方法

(1)白華の目視観察

供試体表面を目視にて観察した。加えて供試体表面を詳細に観察するため、デジタルマイクロスコープ(K社製 VHX-5000)を使用し、観察を行った。

さらに白華を定量的に観察するため、発生している白華箇所の面積を、画像解析ソフト (A社製) を用いて計測し、(1)式を用いて求めた。

$$\begin{aligned} & \text{白華面積率(\%)} \\ & = \frac{\text{白華析出面積(mm}^2\text{)}}{\text{試験体表面積(mm}^2\text{)}} \times 100 \dots (1) \end{aligned}$$

(2)質量測定

供試体の質量測定は、質量計を使用し、実験前後の質量変化率を(2)式を用いて算出した。

$$\Delta m(\%) = \frac{m_a}{m_b} \times 100 \dots (2)$$

Δm : 質量変化率(%)

m_b : 乾湿前の質量(g)

m_a : 湿潤・乾燥工程後の質量(g)

(3)リン検出量の測定

供試体の薬剤はリンが主成分、もしくはリンが入っているものであるため、薬剤の把握を行うためにリン量の測定を行った。

リン検出量の測定において、白華が表面に残存したままであると、白華がリン検出量に影響する。供試体表面のリン検出量を把握するため、白華を拭き取り、エアで吹き飛ばした。

実験に使用した装置は、卓上蛍光 X 線分析装置 (M 社製) を使用した。蛍光 X 線分析は図2に示すように直径 30 mm の円に X 線を照射し、供試体から放出した各元素の蛍光 X 線の強度を計測するものである。測定結果は実験後から実験前のリン検出量の値をの差を算出した。

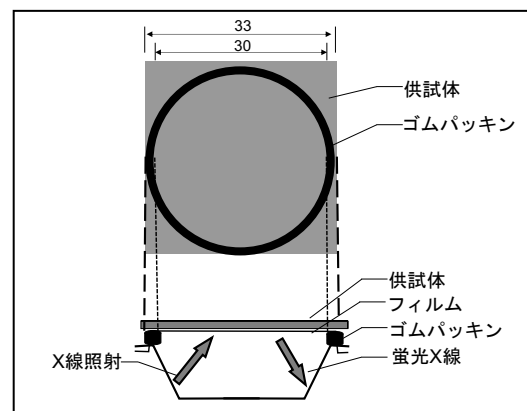


図2 蛍光 X 線分析装置模式図

3 実験結果および考察

3.1 白華の目視観察

供試体に白華が発生した状況 (供試体Aを例示) を写真1および写真2に示す。

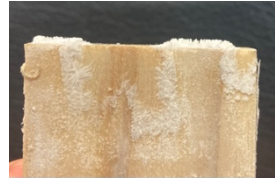
塗料を供試体の板目以外の5面に塗布したが、白華は全ての面で発生した。また、乾湿条件や供試体により白華の有無、白華の発生場所、発生率が異なる結果となった。



板目面



小口面



小口面(断面図)

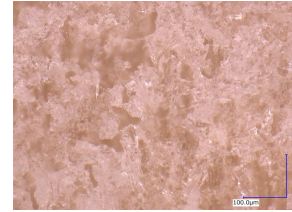


写真2 マイクロスコ
プによる白華観察結果

写真1 供試体板目面の白華状況

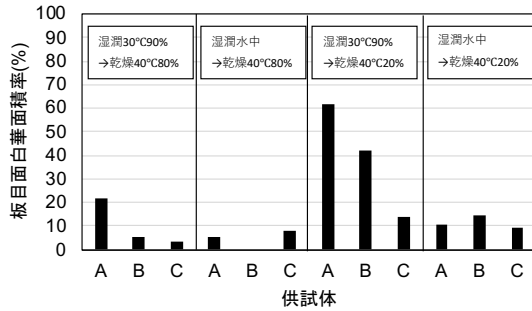


図3 板目面白華面積率

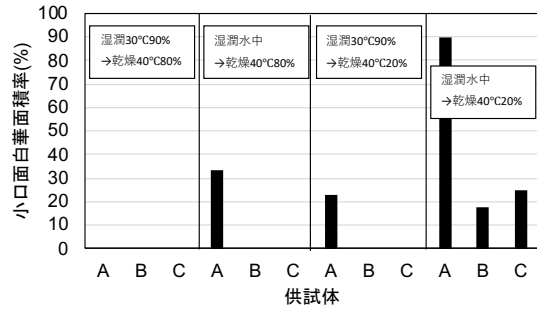


図4 小口面白華面積率

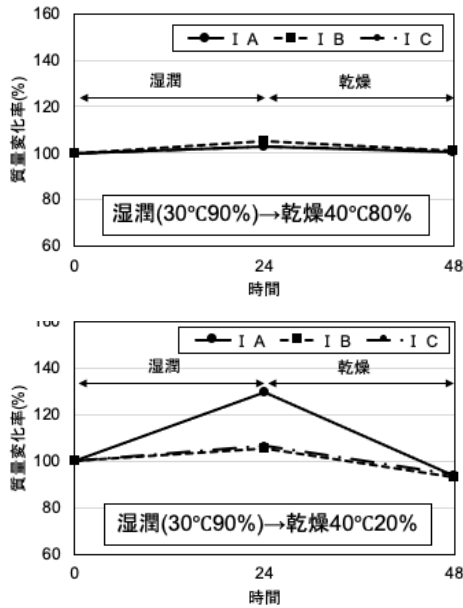


図5 質量変化率

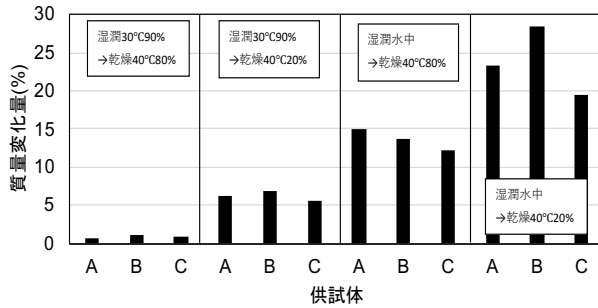
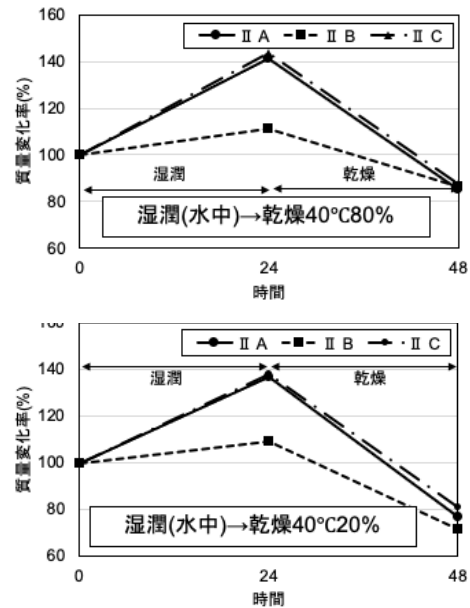


図6 乾湿条件による質量変化量

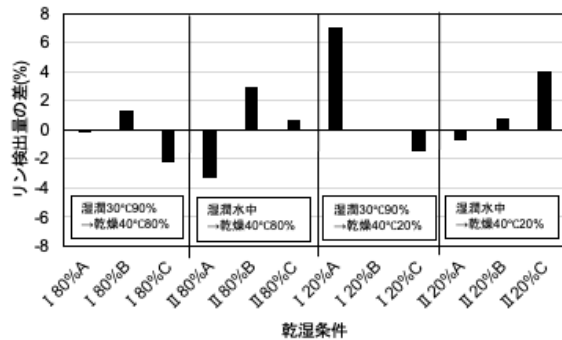


図7 乾湿条件による板目面リン検出量

白華は、板目面と小口面では板目面の方が多く発生しており、木目に沿って発生していた。小口面の白華は、板目面より見られなかったものの、年輪の周囲に薄く発生していることが確認された。白華の色および結晶は供試体により異なった。供試体Aの白華は、白い結晶が目視にて確認できた。写真2に示す白華の結晶の大きさは80(μm)程度であった。供試体Bは薄く透明な結晶があり、供試体Cは白い粉のような白華が見られた。

白華面積率を図3および図4に示す。板目面の白華面積率が小さい傾向を示した条件は、40℃80%で乾燥した場合と、水中浸漬後40℃20%で乾燥した場合であった。小口面においては、供試体A以外はあまり白華が見られなかった。

3.2 質量変化率

乾湿条件ごとの質量変化率を図5に、実験前後における乾湿条件ごとの質量変化量を図6に示す。全ての供試体において、質量は実験前よりも実験後の方が減少していることが確認された。これは、木材の吸放出と共に薬剤が溶脱し、質量が減少した為だと考えられる。

最も変化率が少なかった条件は、湿潤I(温度30℃湿度90%)→乾燥III(温度40℃湿度80%)である。温湿度の変化が小さければ、薬剤は溶脱せず、白華が発生しないと考えられる。

また、湿潤をII(水中)で行った場合、乾燥条件によって質量変化率に10%以上の差があることがわかった。乾燥する湿度により、溶脱する量に差が出る可能性があると考えられる。

3.3 リン検出量

乾湿条件ごとの供試体板目面におけるリン検出量を図7に示す。リンの検出量は乾湿条件により検出される量が異なることがわかった。また供試体により、リン検出量の傾向が異なる結果となった。特に供試体Aでは乾湿条件によりばらつきが大きいことがわかった。白華面積率の結果より、白華量が多いことから、リン検出量に影響したと考えられる。

3.4 質量変化量に対するリン検出量

質量変化量に対する板目面リン検出量を図8に示す。質量変化量は乾湿条件ごとに増加していることがわかった。しかし、リン検出量の変化量はばらつきが大きい結果となり、今回の条

件では傾向が見られるのみとなった。今後研究を重ね関係性について検討する予定である。

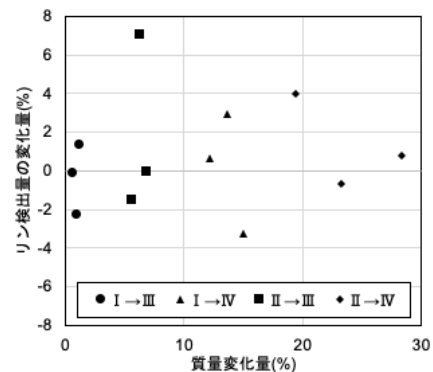


図8 質量変化量に対する板目面のリン検出量変化量

4 まとめ

- (1) 今回の湿潤条件では、乾湿条件や供試体により白華の有無、白華の発生場所、白華面積率が異なる結果となった。
- (2) 白華発生の様子は、木目と年輪に沿って発生していることが確認された。
- (3) 質量変化率において、全ての供試体で質量の減少が見られ、溶脱していると推測される。
- (4) リン検出量は、供試体および乾湿工程により検出される量が異なることがわかった。
- (5) 今回は乾湿工程を1サイクルのみ行っただが、質量が全ての供試体で減少する傾向が見られた。そのため今後はさらにサイクル数を増やし、検討を行う予定である。

【謝辞】本研究にご協力頂きました日本大学松井勇名誉教授、企業の方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 林野庁：木材の利用の促進について改正公共建築物等木材利用促進法,2021 <https://www.rinya.maff.go.jp>(参照2021,10,1)
- 2) 都市防災不燃化協会：液だれ、白華現象に関して,2018 <https://faudp.com> (参照2020.12)
- 3) 河原崎政行:薬剤処理木材の高湿度雰囲気下における薬剤溶脱性と防火性能,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp381-382,2018.9
- 4) 河原崎政行:防火木材における白華の発生要因の検討,木材保存、40(1),17-24,2014