

難燃薬剤処理木材の性能に関する研究

－その2 薬剤処理木材の含水率－

日大生産工(院) ○中蘭 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、国策として2000年の建築基準法律改正により、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、木材の利用の促進に取り組む対象が、建築物一般に拡大された。

それに伴い、建物の内外装や構造体への使用が増加している。木材は自然素材で木目が美しく、香りにはリラックス効果がある²⁾とされている。一方、木材は自然素材なため取り扱いが難しく、雨や紫外線、湿気、などの使用環境、防災、防腐、防虫などの課題がある。その中でも、防火性能を付与した内装用木材の一つに、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、薬剤処理木材と示す）がある。しかし、2018年に1都6県25施設のうち、19施設で薬剤処理木材が白華現象の影響により耐火性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³⁾された。既往の研究により、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が損なわれると共に防火性能の低下が懸念⁴⁾されている。また、この薬剤処理木材は一般的には内装用に使用されている。しかし、実際の室内空間においては湿度が38～78%の範囲で変化する⁵⁾とされており、環境条件によっては湿度の影響を受けることが推測される。

本研究では、薬剤処理木材の美観性や耐久性、防火性のなどの性能把握を目的とし実施している。

本報告では、美観性の観点から、湿度と表面

状態の関係について検討した結果を述べる。

2. 供試体概要

供試体概要を表1に示す。供試体に用いた薬剤処理木材は、樹種にスギとヒノキを使用し、薬剤にリン酸アミノ系とホウ酸系、ホウ酸・リン酸アンモニウム系を用い、無垢材も含めた6種とした。供試体寸法はJIS Z 21010（含水率の測定）より、30mm×30mmで、厚さが10、15mmとした。供試体数は3体を使用した。

3. 実験方法

3.1高湿度暴露実験

木材を絶乾状態にするため、暴露前にJIS Z 2101（含水率の測定）に基づき、電気定温乾燥器（F社製品FS-60P）を使用し、103±2℃にて乾燥させ、恒量に達した際の質量を測定した。質量は質量計（A社製HT-120）の少数第二位まで読み取れるものを使用した。

暴露試験は、恒温恒湿装置（N社製LH33-13P）を使用し、温度は20℃一定とし、供試体を暴露する湿度環境を調整した。はじめは湿度0%に設定した装置内に供試体を静置し、4時間後の含水率と表面状態の観察を行った。その後、湿度20、40、60、80、100%の場合も同様に行った。

3.2含水率測定

薬剤処理木材は品質管理が重要とされており、その評価の一つとして含水率の測定がある。現在含水率測定器は多くの種類がある。予備試験により、測定器による違いを確認したため、本実験でも比較することとした。

含水率測定方法概要を表2に示す。測定器による含水率の違いを把握するため、規格化されているJIS Z 2101（含水率の測定）（以下、質量式）と一般的な測定方法である高周波式、電流式の3種の比較を行った。質量式は、JIS Z

表 1 供試体概要

供試体記号	A	B	C	D	E	F
メーカー	Ⅰ		Ⅱ		Ⅲ	
樹種	スギ					ヒノキ
薬剤	無	リン酸アミノ系樹脂	無	ホウ素系	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	
含浸方法		加圧減圧注入		温煮沸処理	加圧減圧注入	
寸法(mm)	30X30X15				30X30X10	

Research on the performance of fire-retardant treated wood materials
－Part 2: Water content of fire-retardant treated wood－

Seiko Nakazono and Kaori Nagai

2101に準拠し算出した。高周波式は、ハンディ型水分測定器（M社製MC-160SA）を使用し、供試体に押し当てる様に測定を行った。電流式は、ペン型水分計（F社製PMS-713）を使用し、テストピンを供試体に2mm以上刺し測定を行った。測定は3回行い、その平均値とした。

表 2 含水率測定方法概要

方法	質量式	高周波式	電流式
範囲(%)	0~100	0~85	6~40
深さ(mm)	任意による	30~50	2
精度(%)	±0	±1	±5
形式	絶乾状態	非破壊	破壊

3.3 測色

測色は表面の色変化を数値で観察するために行った。JIS K 5600-4-6に基づき、L、a、bを色彩計（K社製CR-400）を用い、20℃恒温環境下にて実施した。色差（ΔE）は、絶乾状態に対して、測色した各パラメータの変化量から、（1）式より求めた。測色部の直径は8mmとし、供試体表面の節を避けた任意の3箇所の測定値の平均とした。

$$\Delta E^*ab = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \quad \dots (1)$$

L：明度

a：+赤、-緑方向

b：+黄、-青方向

3.4 目視観察

目視観察は、デジタルマイクロスコープ（K社製VHX-5000）を使用し、供試体表面における色変化について観察を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 質量式による含水率測定結果

質量式による含水率の結果を図1に示す。全ての供試体で湿度が60%まではほぼ一定を保ち、湿度60~100%において増加する結果となった。含水率が最も高い供試体Dと同メーカー無垢材の供試体Cを比較すると含水率の差が7%もあった。これは供試体Dはホウ素系薬剤を使用しており、薬剤処理を行ったことにより差が生じたと考えられる。供試体ABに関して、薬剤処理した供試体Bの方が無垢材の供試体Aよりも高い結果を示し、薬剤処理による影響だと推測される。既往の研究では、リン酸・ホウ酸系薬剤はリン酸化合物の薬剤に比べて吸湿量が多い⁶⁾と報告があり、本実験での含水率の増加が起こったと考えられる。

4.2 含水率測定方法の検討

質量式に対する高周波式と電流式の含水率の相関を図2、3に示す。電流式は高周波式に比べ、相関がある結果となった。しかし、高周波

式と電流式は質量式に比べ、含水率が高くなる傾向を示した。電流式は、含水率5%以下は測定できないため、湿度0%では測定できなかった。しかし、含水率が7~15%の範囲においては、正の相関が取れており、ほぼ正確な値を測定することができた。

高周波式では、供試体B、C以外は湿度0%下で2倍ほど大きく、湿度60%以降においてはさらにその差が大きくなり、湿度100%においては、その差が2.3~4.5倍となった。高周波式は接触型であり、極表面の含水率のみの測定のためと推測する。

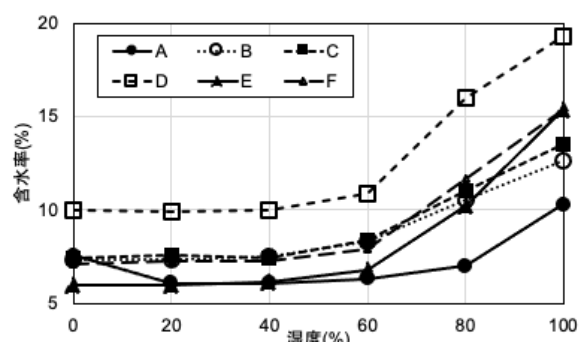


図 1 質量式による含水率

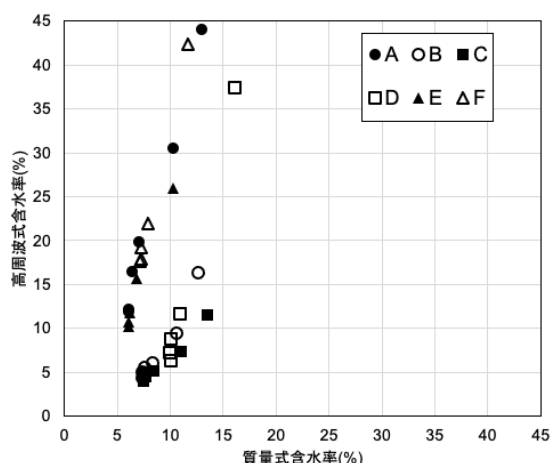


図 2 質量式に対する高周波式による含水率

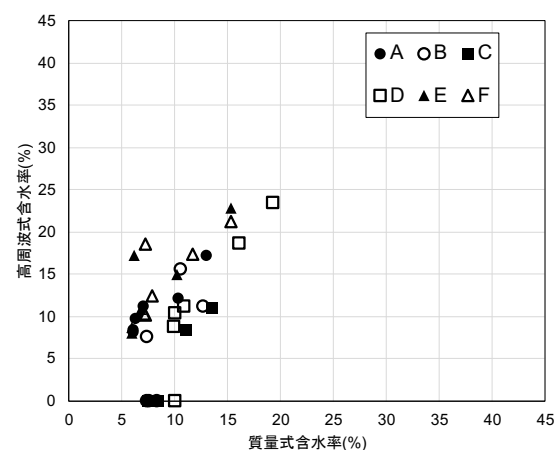


図 3 質量式に対する電流式による含水率

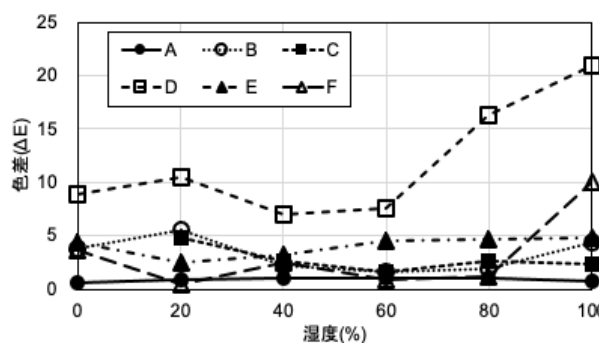


図4 湿度による色差変化

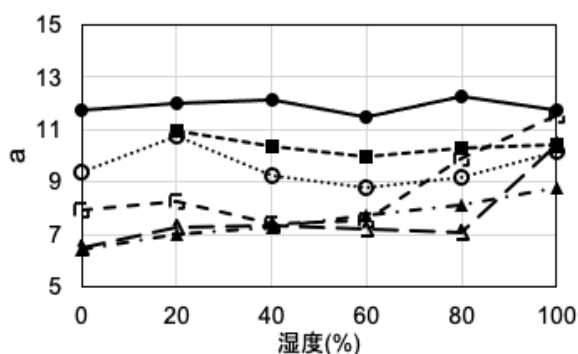


図6 湿度によるa値の変化

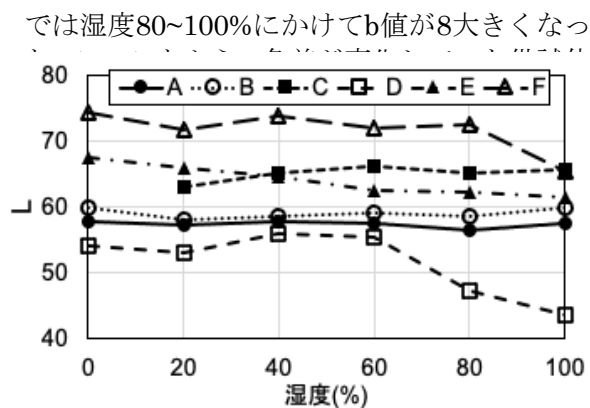


図5 湿度によるL値の変化

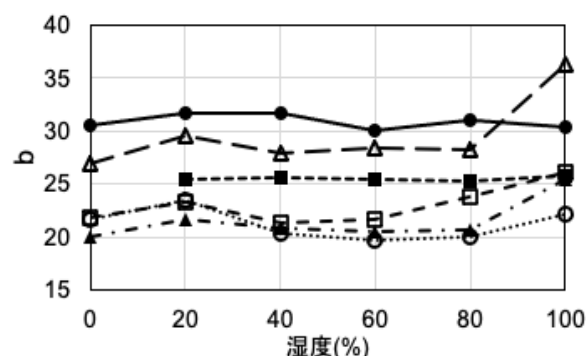


図7 湿度によるb値の変化

4.3測色結果

湿度による色差変化を図4に示す。湿度による色差の変化は、ほとんどの供試体で変化量5以内を示した。供試体Dは湿度60~100%にかけて、供試体Fは湿度80~100%にかけて色差が大きくなる結果となった。木材は濡れると水を含むため色が変わる。湿度によるL、a、b値の変化を図5から図7に示す。

図5のL値の変化は、ほとんどの供試体はほぼ同様の値を示したが、供試体Dは湿度60~100%にかけてL値が12小さくなる結果となった。加えて、供試体Fについても湿度80~100%にかけてL値が8小さくなる結果を示した。供試体C、Dを比較すると、ほぼ変化のない無垢材供試体Cに対して、ホウ酸系薬剤を使用している供試体Dは、湿度60~100%にかけて小さくなった。湿度が増加すると木材が水を含み、表面が濡色を示すのは、ホウ酸系薬剤であり湿度60%以上、リン酸系薬剤で、湿度80%以上であった。

次に図6、7のa、b値は、L値と同様にほぼ一定の値で推移しているが、a値では、供試体Dが湿度60~100%にかけてa値が4大きくなり、供試体Fでは湿度80~100%にかけてa値が3大きくなった。一方、b値では供試体Dが湿度60~100%にかけてb値が5大きくなり、供試体F

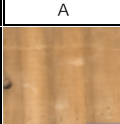
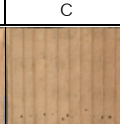
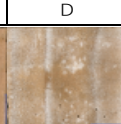
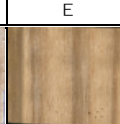
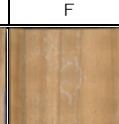
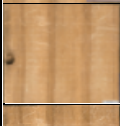
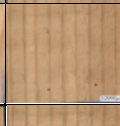
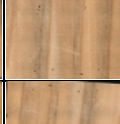
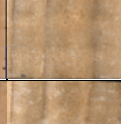
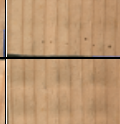
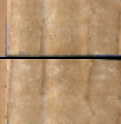
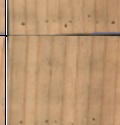
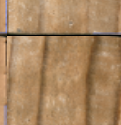
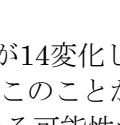
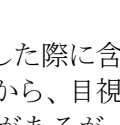
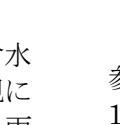
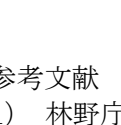
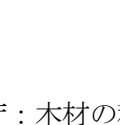
D、Fは、明度が小さくなり、赤味と黄味が強まったことを表している。これは、項目4.1での考察の通り、リン酸・ホウ酸系薬剤は吸湿量が多いため、表面が濡色で暗くなり、明度が小さくかつ、色度が大きくしたことが色差に影響したと考えられる。

4.4目視観察結果

湿度による表面状態観察結果を表3に示す。全ての供試体において絶乾状態から湿度80%までは目視で判別できる変化は見られなかった。しかし、湿度100%では、供試体A、Bでは表面が湿っていることが確認でき、供試体Cでは色が濃くなることがわかった。さらに供試体D、E、Fでは表面に水滴が確認できた。これについては、ホウ酸系薬剤を使用した供試体であるため吸湿性が高く、吸湿量が多くなったため、木材内部の水分量の飽和が速く起こり、水滴が生じたと考えられる。

色差の結果と比較すると、供試体D、Fにおいては、絶乾状態に対してそれぞれ色差が20と10の変化量があるため目視にて判別でき、その差が目立った。一方、色差が5以下の供試体においては、並べて比較した際に違いがわかる程度となっている。これは、人が認識できる色変化で色差が5程度では見比べた際に違いが認識でき、色差20程度では、違うと認識するものとされているため、本実験でも同様の結果を示した。

表 3 湿度(%)による表面状態観察結果

供試体 湿度(%)	A	B	C	D	E	F
絶乾						
0						
20						
40						
60						
80						
100						

また、供試体Dでは色差が14変化した場合に含水率は10%変化していた。このことから、目視により含水率の判別ができる可能性があるが、両者の関係を明確にするために、さらに詳細な分析が必要である。

5. まとめ

- (1) 湿度と含水率の関係は、薬剤の種類によるが、薬剤処理した供試体の方が無垢材より含水率が大きい結果を示した。
- (2) 含水率測定においては、質量式と同様の値を示したのは、電流式となった。含水率が7~15%の範囲においては、ほぼ正確な値を測定することができた。
- (3) 湿度による色差の変化は、ほとんどの供試体では色差5以内を示したが、薬剤処理した供試体においては、湿度60~100%にかけて色差が5~12の範囲で増加する結果となった。
- (4) 目視観察では、湿度100%下では色が濃くなり、かつ表面に水滴が発生した供試体があった。色差結果と比較すると、同様の傾向を示したことが確認できた。

【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) 池井晴美：木材の接触が人にもたらす生理的リラックス効果,森林科学, P36-P39,Vol.86,2019.6
- 3) 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)
- 4) 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
- 5) 牧福美ら：各種居住空間における湿度の変化,木材学会誌, pp37-43,Vol52,No1
- 6) 河原崎政行:薬剤処理木材における白華現象の発生要因の検討,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp381-382,2012.9,
- 7) 日本色彩学会編：新編色彩科学ハンドブック第3版,2011