

平成22年 6月10日現在

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18580169
 研究課題名（和文） 屋外使用環境下における難燃処理木材の性能低下メカニズムの解明
 研究課題名（英文） Study on mechanism of performance degradation of fire-retardant wood in exterior applications
 研究代表者
 原田 寿郎（HARADA TOSHIRO）
 独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長
 研究者番号：50353818

研究成果の概要（和文）：難燃処理木材は、屋外使用環境下では、薬剤の溶脱にともなう性能低下が懸念される。難燃処理木材の耐候性試験を行ない、薬剤残存量と防火性能の関係を評価したところ、薬剤の種類と塗装方法を適切に選択すれば、難燃処理木材の屋外耐候性を著しく向上させることが可能であることが明らかとなった。また、薬剤の溶脱は細胞内腔から起こり、かなりの量の薬剤が溶脱しても細胞壁中には薬剤が残存していることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Performance degradation of fire-retardant wood is a foremost concern through the use in exterior applications because of the leaching of chemicals. Weatherability and combustibility of fire-retardant-impregnated wood were evaluated after accelerated or outdoor weathering tests. We found that the appropriate combination of chemical agents and coatings improve the weatherability of fire-retardant wood, and chemicals in the cell walls remained after leaching.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,100,000	0	1,100,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
2009年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,500,000	720,000	4,220,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：林学・林産科学・木質工学

キーワード：接着・木質材料、防火

1. 研究開始当初の背景

2000年に建築基準法が改正され、防火材料に求められる性能や技術的基準が明確になるとともに、木質材料であっても不燃材料の認定を受けることが可能となったことを契機として、木質の不燃材料や準不燃材料の開発が活発に行われている。

木質材料を難燃化する手法は、水溶性の難燃薬剤を用い、その水溶液を木材に減圧・加圧法により含浸するのが一般的で、用途は、内装用に限定される場合が多い。

国産材の需要拡大や景観・アメニティを重視する視点から、木材を外壁やルーバー、デッキ材などの外構部材として利用したいと

いう消費者の要望は強いが、水溶性の難燃薬剤を含浸しただけの木材では、雨水等の影響を受ける屋外使用環境においては、薬剤の溶脱に伴う防火性能の低下が予想され、防火性能を有する材料の使用が義務付けられる用途や場所では使用できない。

水溶性の薬剤含浸に代わる難燃化の手法が一般化されていない現状においては、塗装により耐候性を付与する手法が検討されているが、難燃処理木材の屋外暴露試験や促進耐候性試験による防火性能低下に関する基礎的なデータが乏しく、屋外使用環境下における難燃薬剤の溶脱のメカニズムや塗装の有効性も明らかにされていない。

2. 研究の目的

本研究は、難燃薬剤の溶脱機構に着目して、屋外使用環境下における難燃処理木材の性能低下現象を解明するとともに、促進耐候性試験、屋外暴露試験を通じ、塗装による難燃薬剤の溶脱防止効果を検証することを目的とする。このため、

- ・屋外使用環境下での難燃処理木材の防火性能低下の定量的な把握
 - ・塗装による防火性能低下抑制効果の解明
 - ・難燃薬剤の溶脱機構の解明
- を行う。

3. 研究の方法

(1) 試験体の作製

実験にはスギ辺材を使用し、薬剤含浸のため、促進耐候性試験用として幅100×長さ120×厚さ8mm、屋外暴露試験用としては幅100×長さ300×厚さ18mmの板目材を調整した。

難燃薬剤の含浸は、上記試験体を60℃で7日以上乾燥し、質量を測定した後、所定濃度に調整した難燃薬剤の水溶液中に浸漬し、減圧・加圧法を用いて行なった。使用した難燃薬剤は、ポリリン酸系薬剤(A)、ホウ砂・ホウ酸・リン酸アンモニウム混合物(B)、リン酸・窒素系薬剤(C)、リン酸系薬剤(D)の4種類であった。促進耐候性試験には薬剤A、C、D、屋外暴露試験にはA、B、C、Dを注入した試験体を用いた。なお、薬液含浸後の試験体の質量増加から計算される難燃薬剤の含浸量(固形物量)は、A:約220kg/m³、B:約170kg/m³、C:約180kg/m³、D:約220kg/m³であった。

塗装による効果は、薬剤Aを含浸した試験体について検討した。表面(木口面を除く四面)への塗装は、①水性・造膜・隠蔽型塗料(茶)、②油性・含浸・半透明型塗料(茶)、③油性・半造膜・半透明型塗料(茶)、④油性・造膜・透明型難燃塗料の4種類の塗料を用いて行なった。比較のため、塗装しないもの、難燃処理・塗装のいずれも行わないものも作製した。なお、木口面はゴム系樹脂接着剤を塗布してシールした。

(2) 耐候性試験後の薬剤残存量の把握

促進耐候性試験は、JIS K5600-7-7(キセノンランプ法)の方法1に準拠し、通常の放射照度による2000時間までの試験を行った(ぬれサイクル:水スプレー18分、乾燥102分の繰返し)。

屋外暴露試験は、森林総合研究所第2樹木園(つくば市内)において、南面90度で、12ヶ月間行なった。

所定時間経過後、試験体の質量(乾燥後)を測定し、その結果から薬剤残存量を算出するとともに、森林総研法により試験体表面のはつ水度を測定した。

(3) 耐候性試験後の防火性能の把握

所定時間の耐候性試験を経た試験体の防火性能は、ISO5660-1に準拠したコーンカロリメータ試験(輻射熱強度50kW/m²)により評価した。加熱時間は10分間とし、着火時間、発熱速度、10分間の総発熱量(THR₁₀)を計測した。

(4) SEM-EDX分析による薬剤分布の把握

難燃薬剤Aを含浸し、促進耐候性試験を実施した試験体について、時間の経過とともに難燃薬剤の溶脱がどのように進行するかを明らかにするため、エネルギー分散型X線分光器を備えた走査型電子顕微鏡を用い、難燃薬剤に含まれるリン元素(P)の分布状態をマッピングするなどの分析を行った。

4. 研究成果

(1) 促進耐候試験後の薬剤残存量

薬剤A、C、Dをそれぞれ含浸させた試験体(無塗装)の促進耐候試験後の薬剤残存量を図1に、薬剤残存量と防火性能の関係を図2に示す。

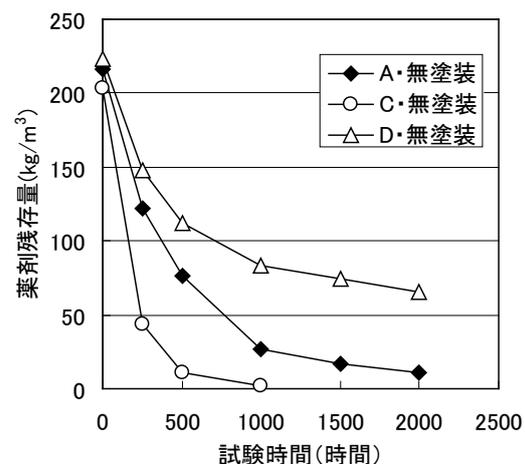


図1 薬剤注入、無塗装試験体の促進耐候性試験後の薬剤残存量の推移

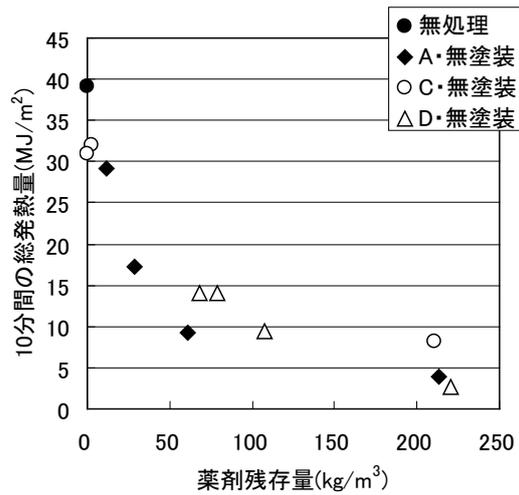


図2 無塗装試験体の促進耐候性試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

促進耐候性試験で、最大 2000 時間までの各薬剤の無塗装状態での薬剤残存量を比較すると、D>A>C (Bは未実施) の順に薬剤残存量が多く、薬剤Dの性能が良いことが明らかとなった。また、薬剤残存量と防火性能との間には相関がみられた。

(2) 屋外暴露試験後の薬剤残存量

薬剤 A、B、C、D をそれぞれ含浸させた試験体（無塗装）の屋外暴露試験後の薬剤残存量を図3に、薬剤残存量と防火性能の関係を図4に示す。

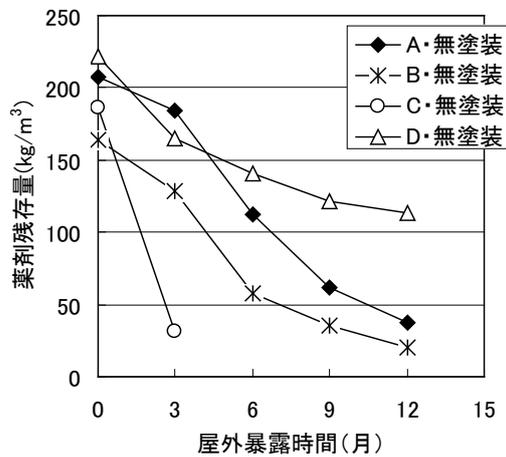


図3 薬剤注入、無塗装試験体の屋外暴露試験後の薬剤残存量の推移

屋外暴露試験においても、薬剤Dは薬剤残存量が多く、優れた耐候性を示すことが明らかとなった。

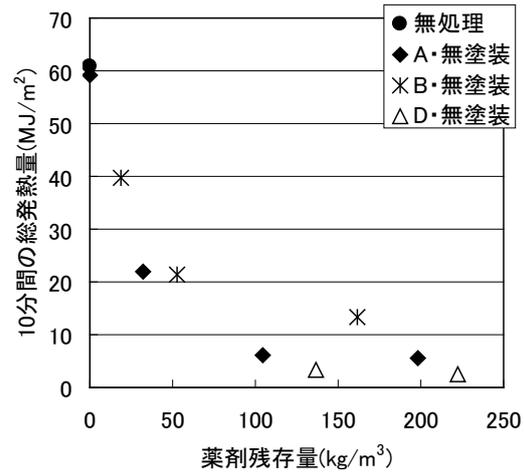


図4 無塗装試験体の屋外暴露試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

(3) 塗装の効果

表面を塗装した難燃処理試験体の促進耐候性試験実施後の薬剤残存量を図5に、薬剤残存量と防火性能の関係を図6に示す。

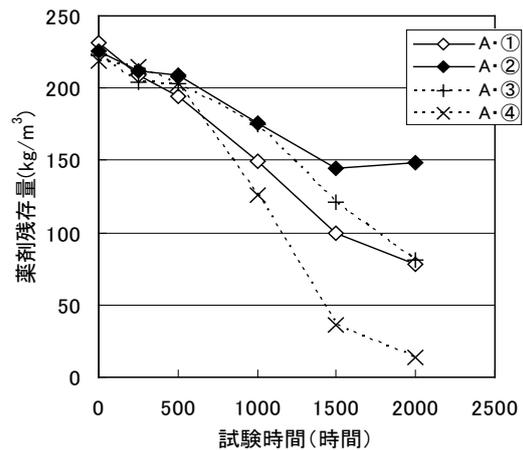


図5 塗装試験体の促進耐候性試験後の薬剤残存量の推移

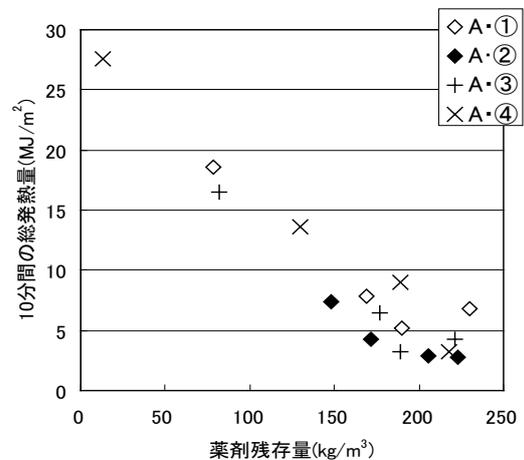


図6 塗装試験体の促進耐候性試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

厚さ 8mm の試験体を用いた促進耐候性試験においては、②塗装試験体の耐候性がよく、薬剤 A を含浸させた試験体では、2000 時間経過後も 150kg/m³ 程度の薬剤残存量があり、準不燃材料レベルの燃焼性を維持していることが明らかとなった。また、薬剤 D と塗料②の組合せでは、2000 時間経過後も 200kg/m³ 以上の薬剤が残存しており、極めて良好な耐候性を示すことが明らかとなった。

屋外暴露試験後の薬剤残存量を図 7 に、薬剤残存量と防火性能の関係を図 8 に示す。

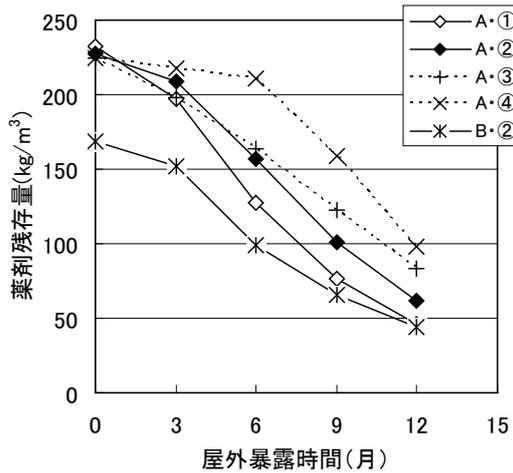


図 7 塗装試験体の屋外暴露試験後の薬剤残存量の推移

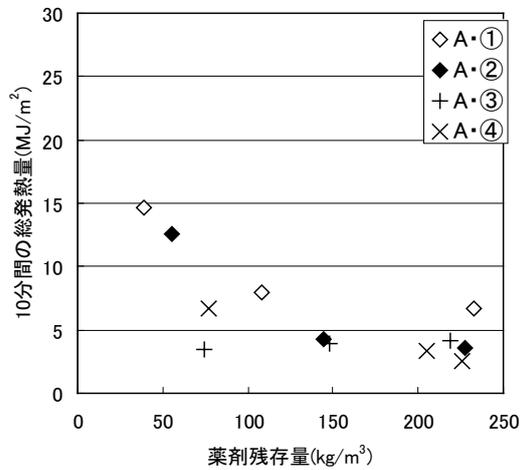


図 8 塗装試験体の屋外暴露試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

薬剤 A を含浸させた試験体の屋外暴露試験では、④塗装試験体の耐候性が②塗装試験体に比べて高く、促進耐候性試験と異なる結果となった。薬剤の溶脱は、塗膜の劣化と関連すると思われる。一般的には紫外線と水により塗装面の劣化が発生し、さらに水が浸透しやすくなることで雨水がより多く木材中に浸透し、難燃薬剤の溶脱が進むというメカニ

ズムを念頭におくと、屋外で使用する場合の塗装の性能は、透明型よりも顔料が混入された着色タイプの方が光に対する劣化が小さいと推測され、それが促進耐候性試験での結果に反映されたものと思われる。屋外暴露試験での結果が促進耐候性試験と異なった理由としては、屋外暴露試験では、雨が降り続くと乾燥になるなど、促進耐候性試験では必ずしも再現できない条件が付与される可能性があること、乾燥による割れは厚い板の方が生じ易いことから、厚い試験体を用いた屋外暴露試験では、乾燥による割れの影響が出た可能性があることなどが考えられる。

(4) 難燃薬剤溶脱のメカニズム

薬剤 A を含浸させ、促進耐候性試験を実施した無塗装の試験体中の難燃薬剤 (P 元素) の分布状況を図 9 に示す。

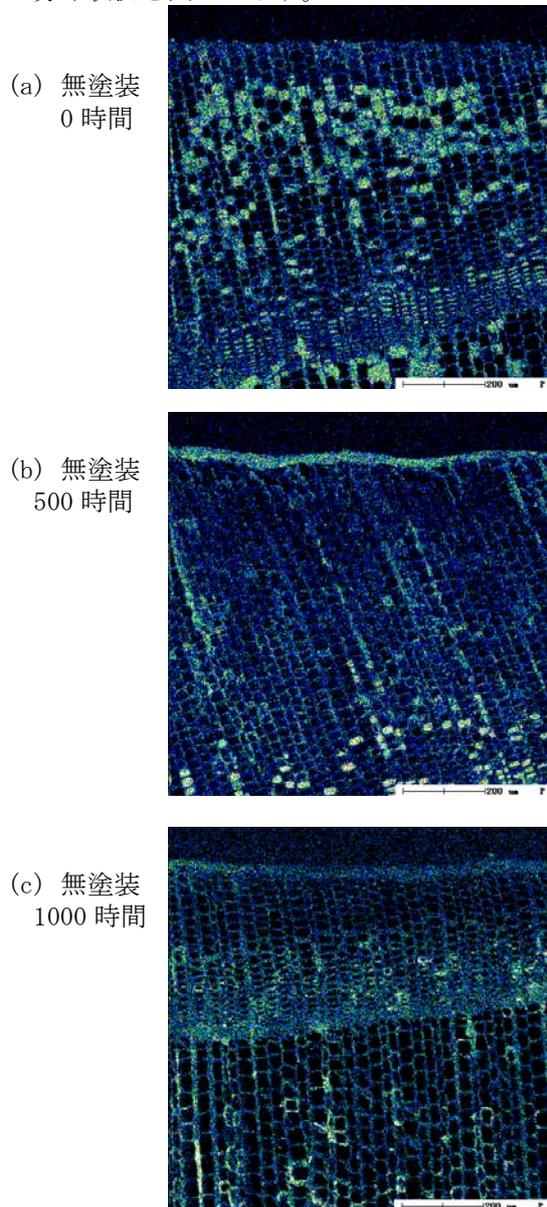


図 9 難燃処理木材の P 元素の分布像

促進操作前の試験体 (a) では、P 元素が細胞壁並びに細胞内腔から検出され、難燃薬剤が広範囲に含浸している。500 時間経過した試験体 (b) では、表面に近い細胞内腔の薬剤の溶脱が観察された。細胞内腔に存在していた薬剤が溶脱した深さは、表層から 500 時間では約 150~600 μm 程度であったが、1000 時間になるとその範囲がさらに広がった。しかしながら、細胞壁からは依然として P 元素が検出された。防火材料のレベルではないにせよ、わずかに 30kg/m³ 程度の薬剤残存量になっても、無処理の木材に比べて発熱量が低く抑えられたのはこのためであると推測される。

一方、表面を塗装した試験体では、表面からの溶脱抑制効果が認められた。すなわち、1000 時間経過時の②塗装試験体では、表層近くの細胞内腔にも難燃薬剤が分布していた。また、各塗料間の比較を行ったところ、促進耐候性試験では、含浸型の着色塗料である塗料②の効果が高く、1000 時間経過後も塗料が木材表面に含浸している様子が観察された。1000 時間で急に溶脱が進んだ④塗装試験体では、500 時間までは 0 時間と同様の薬剤分布だったが、1000 時間になると表面に発生した割れの部分からの溶脱が目立つようになった。これらのことから、塗装した難燃処理木材からの薬剤の溶脱は、表面に発生した割れから進行するのではないかと考えられる。

さらに薬剤 A を含浸させた試験体の SEM-EDX 分析において、晩材仮道管二次壁及び細胞間層を点分析し、難燃薬剤中の P のスペクトル強度を算出したところ、1000 時間の促進耐候性試験を経て、無塗装試験体の薬剤残存量が大きく落ち込んでも、壁中濃度は、あまり変化が認められなかった。このことから、難燃薬剤は材内で固着せず、溶脱過程において、細胞内腔に含浸されていた薬剤が壁内を介して移動していると考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3 件)

① Toshiro Harada, Hiroshi Matsunaga, Yutaka Kataoka, Makoto Kiguchi, Junji Matsumura: Weatherability and combustibility of fire-retardant impregnated wood after accelerated weathering tests, Journal of Wood Science, 査読有、55 巻、2009 年、p. 359-366

② Toshiro Harada, Yasushi Nakashima, Yasushi Anazawa: The effect of ceramic coating of fire-retardant wood on combustibility and weatherability, Journal of Wood Science, 査読有、53 巻、2007 年、p. 249-254

③ 原田寿郎: 防火材料・耐火構造への木質材料の利用、木材保存、査読有、32 巻、2006

年、p. 246-250

〔学会発表〕(計 5 件)

① 原田寿郎、松永浩史、片岡厚、上川大輔、木口実: 難燃処理・塗装木材の耐候性試験後の防火性能—促進耐候性試験と屋外暴露試験の比較—、日本木材保存協会 第 25 回年次大会、2009 年 5 月 21 日、メルパルク東京 (東京都)

② Toshiro Harada, Hiroshi Matsunaga, Yutaka Kataoka, Daisuke Kamikawa, Makoto Kiguchi: The effect of coating of the leachability and combustibility of fire-retardant impregnated wood after weathering test, Fire and materials 2009 (11th conference and exhibition)、2009 年 1 月 26 日~28 日、San Francisco

③ Hiroshi Matsunaga, Toshiro Harada, Yutaka Kataoka, Makoto Kiguchi, Daisuke Kamikawa: 39th Annual meeting of international research group on wood protection、2008 年 5 月 25 日~29 日、Istanbul

④ 原田寿郎: 塗装と組み合わせた木材の難燃処理、木材の化学加工研究会シンポジウム講演会、2007 年 10 月 11 日、富山県民会館 (富山市)

⑤ 原田寿郎、片岡厚、木口実、松永浩史、上川大輔: 難燃処理木材のウェザメータ試験による耐候性評価、日本木材学会大会、2007 年 8 月 10 日、安田女子大学 (広島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

原田 寿郎 (HARADA TOSHIRO)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長

研究者番号: 5 0 3 5 3 8 1 8

(2) 研究分担者

木口 実 (KIGUCHI MAKOTO)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・室長

研究者番号: 5 0 3 5 3 6 6 0

片岡 厚 (KATAOKA YUTAKA)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・チーム長

研究者番号: 8 0 3 5 3 6 3 9

松永 浩史 (MATSUNAGA HIROSHI)

独立行政法人森林総合研究所・木材改質研究領域・主任研究員

研究者番号: 8 0 3 9 1 1 8 4