

令和 3 年 6 月 16 日現在

機関番号：32660

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2020

課題番号：19K15153

研究課題名（和文）散水・乾燥環境下における難燃処理木材の薬剤溶脱と防火性能低下メカニズムの解明

研究課題名（英文）Study on mechanism of fire retardant agent elution and fire proof performance deterioration of fire retardant treated wood in sprinkling water and drying environment

研究代表者

西尾 悠平（Nishio, Yuhei）

東京理科大学・理工学部建築学科・助教

研究者番号：20793334

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：難燃処理木材を外装材などの降雨環境下で使用する場合、薬剤の溶脱にともなう防火性能の低下が懸念される。耐候性試験後の難燃処理木材の薬剤の残存状態と防火性能の関係を検討したところ、薬剤残存量と比較し、表層部の薬剤溶脱の方が防火性能の低下と関係があることが明らかとなった。また、3年間の自然曝露後と今回実施した促進耐候性試験後と比較すると、自然曝露後の方でより薬剤が溶脱することが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

難燃処理木材を外装材などの降雨環境下で使用する場合、表層部の薬剤溶脱の方が防火性能の低下と関係があることが明らかとなり、経年劣化後の難燃処理木材の防火性能を評価する上での基礎資料を示した。また、自然曝露と促進耐候性試験との薬剤溶脱の違いを確認し、経年劣化を考慮した難燃処理木材の防火性能評価に関する知見が蓄積した。今後、難燃処理木材の外装材利用の促進に寄与すると考えられる。

研究成果の概要（英文）：When fire retardant treated wood is used in a rainy environment such as an exterior material, there is a concern that the fire proof performance may deteriorate due to elution of fire retardant agents from the surface. Investigating the relationship between the residual state of the agents and fire proof performance of the fire retardant treated wood after the weathering test, it was clarified that the fire retardant agent elution from the surface layer was more related to the fire proof performance than the residual amount of fire retardant agents. In addition, comparing 3 years natural exposure and the accelerated weathering test in this study, it was revealed that the fire retardant agent in the wood was more eluted after natural exposure.

研究分野：建築学

キーワード：難燃処理木材 薬剤溶脱 防火

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

2010年に「公共建築物に木材の利用の促進に関する基本方針」が施行され、建築物の内外装材の木質化が推進されている。その中で、難燃処理木材の外装材利用は、薬剤溶脱による防火性能低下の懸念から、実環境下の暴露試験による検証がされている。

難燃処理木材は、一般的に水溶性の難燃薬剤を用い、表面塗装により溶脱防止処理を行うが、近年は薬剤自身に耐溶脱性を付与した難燃薬剤も開発されている。表面塗装による耐溶脱性に関しては、塗膜の劣化が薬剤溶脱を促進させることが指摘されているが、薬剤溶脱の主要因となる水の影響に関しては、促進耐候性試験などが整備されておらず、難燃薬剤自体の耐溶脱性の測定には適用できないことが懸念される。北欧においては、難燃処理木材の防火性能の耐久性を評価する試験規格 (NT fire 053) が存在するものの、前提となる気象外力は欧州の気候を基礎としているため、降水量が比較的多い日本においては、より溶脱が進行する懸念がある。

既往の研究において、散水・乾燥による促進耐候性試験により、外装材利用した際の気象外力が薬剤溶脱に及ぼす影響に関して検討されているものの、散水及び乾燥が薬剤溶脱にどの程度寄与するかは把握できていない。

また、難燃処理木材の薬剤注入量と防火性能には相関関係があることが知られている。しかしながら、気象外力により劣化した難燃処理木材においては、表層部において薬剤の溶脱が起こり、材内部に薬剤の偏りが生じ、薬剤量の低下による防火性能低下がより顕著になると考えられるが、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メカニズムも明らかにされていない。

### 2. 研究の目的

本研究は、散水及び乾燥における難燃処理木材の吸水・脱水が薬剤の溶脱に与える影響を明らかにするとともに、屋外暴露試験および促進耐候性試験により、経年劣化による難燃処理木材の防火性能低下メカニズムの解明することを目的とする。

本目的を達成するため、

- ・屋外使用環境下と促進耐候性試験環境下での難燃処理木材の薬剤溶脱の定量的な把握
- ・難燃薬剤溶脱による防火性能低下メカニズムの解明

を実施する。

### 3. 研究の方法

#### (1) 試験体の作製

実験にはスギ材を用い、促進耐候性試験用として幅 110×長さ 500×厚さ 18mm、ED-XRF 測定用として、幅 80×長さ 20×厚さ 18mm の板目材を調整した。

難燃薬剤は加圧注入法により注入し、使用した難燃薬剤は既存の難燃処理薬剤のうち耐溶脱性が高いリン酸アミノ樹脂系 (A) と一般的に塗膜による保護が必要なホウ素リン酸樹脂系 (B) の 2 種類とした。なお、薬剤注入前後の質量増加から計算される薬剤注入量は  $130 \pm 20 \text{ kg/m}^3$  であった。

塗装による影響は、薬剤 A を注入した試験体については含浸塗料を、薬剤 B については造膜塗料を用いて行った。なお、小口面はアルキド樹脂塗料を塗布した後にシーリング剤によりシールした。

#### (2) ED-XRF 分析による薬剤分布の把握

難燃剤を含浸した試験体から試験片を切り出し、エネルギー分散型蛍光 X 線分析 (ED-XRF) により、試験体断面のリン元素 (P) を検出し、耐候性試験前後の難燃処理木材の薬剤分布をリン元素のマッピングにより測定を行った。

#### (3) 散水・乾燥の繰り返し試験後の薬剤残存量の把握

促進劣化試験は JIS A 1326 を参考に、試験水準は促進劣化試験のサイクル数を変更して実施した (散水乾燥サイクル: 散水 90 分、乾燥 120 分の繰り返し)。試験水準は JIS A 1326 を補間する目的で、JIS A 1326 と同じ 180 サイクルに加え、30、60、240 サイクルのものを実施した。

薬剤 A に関しては、比較対象として、実環境暴露の試験体においても、薬剤残存量等の測定を実施した。屋外暴露試験は、東京理科大学野田キャンパス (野田市内) において、南面 90 度で、12 ヶ月間および 36 ヶ月間実施したものをを用いた。

塗装の有無に関しては、吸水性および撥水性を散水前後の試験体を用いて比較を行った。散水時間は 72 時間とし、一定時間ごとに試験体を取り出して経時的な変化を測定し、塗装の有無による影響を確認した。

#### (4) 耐候性試験後の防火性能の把握

実環境暴露後および促進耐候性試験後の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 (加熱強度  $50 \text{ kW/m}^2$ 、加熱時間 20 分) により評価した。

### 4. 研究成果

(1) 薬剤量と ED-XRF との関係

薬剤 A、B をそれぞれ注入した試験体の薬剤注入量と ED-XRF により測定した試験体断面のリン元素の CPS 値の関係を図 1 に示す。リン元素の CPS 値は、試験片より切り出した 2 断面の平均値を用い、図中のエラーバーは測定した 2 断面のそれぞれの測定値を示す。薬剤 A、B の薬剤において、リン元素の CPS 値と薬剤注入量に相関があることが確認された。

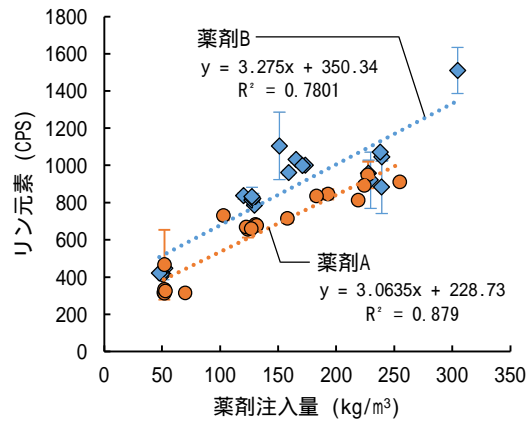


図 1 薬剤注入量とリン元素の CPS 値との関係

(2) 塗装の有無が与える影響

72 時間散水をした際の、質量および撥水性の経時変化を図 2 および図 3 に示す。質量変化率は塗装無しで最も高く、含浸、造膜の順に低かった。相対的に低い値を示した造膜塗装を施した木材であっても、継続的な散水によって 1%質量増加することが示された。また、含浸形は、散水時間がある程度経過した後も質量変化速度があまり変わらず、造膜塗料よりも散水時間の長さが吸湿に影響しやすい塗料であると考えられた。撥水度に関しては、塗装無しの木材は散水開始から 1 時間後の測定ですでに 40 度を下回り、撥水度が著しく低下した。一方、塗装を施した試験体については、散水により接触角が低下するものの散水開始から 24 時間後も撥水度の減少は緩やかで撥水性を保っている。質量変化の結果も踏まえ、含浸塗装の有無によって散水時の木材内部の水分量に差が生じ、薬剤の溶脱に影響を与える可能性が高いと考えられる。

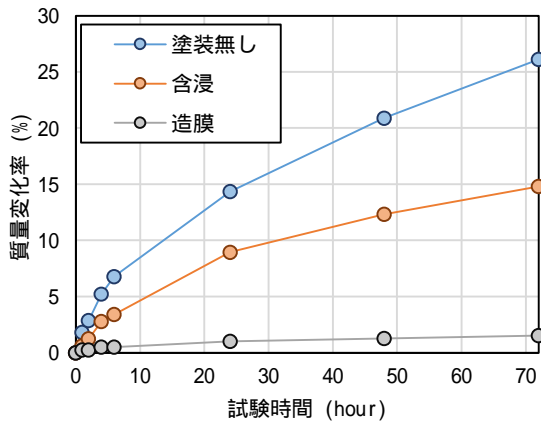


図 2 散水による重量変化率

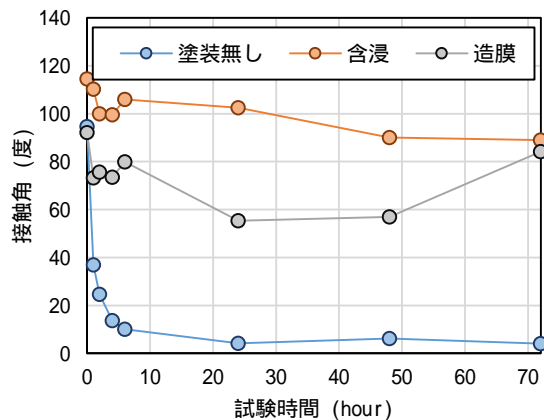


図 3 散水による接触角の変化

(3) 促進耐候性試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

薬剤 A、B をそれぞれ注入した試験体の促進耐候性試験後の薬剤残存率を図 4 に、薬剤 A を注入した試験体の薬剤残存量と防火性能の関係を図 5 に示す。試験体曝露試験の薬剤残存率に関しては、曝露 1 年をサイクル数 60 回相当、曝露 3 年をサイクル数 180 回相当として併記した。

塗装の有無が与える影響に関しては、サイクル数が 60 回までの促進耐候性試験ではそれほど大きな差は確認できなかった。サイクル数が 180 および 240 回の促進劣化試験後において、曝露試験と比較し薬剤残存量が低くなる傾向を示した。しかしながら、防火性能においては、薬剤残存量の低下との相関は確認できず、薬剤残存量が多い曝露 3 年の試験体で燃焼性が高い傾向を示した。これは、薬剤残存量を試験前後の重量変化より算出しているため、実際の薬剤残存量とは異なる結果を示した可能性が考えられる。

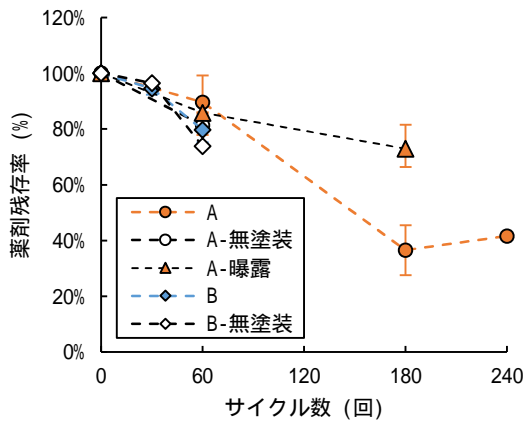


図4 耐候性試験後の薬剤残存率の推移

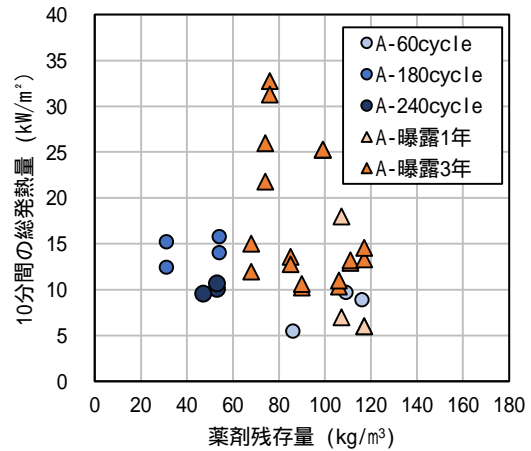


図5 薬剤 A 注入木材の耐候性試験後の薬剤残存量と防火性能の関係

(4) 促進耐候性試験後の試験体断面のリン元素分布と防火性能の関係

薬剤 A を注入した試験体の促進耐候性試験及び曝露試験実施後の薬剤残存量と ED-XRF の測定結果の関係を図 6 に、リン元素の分布状況を図 7 に示す。

薬剤残存量と試験体断面のリン元素との関係においては、相関関係が確認できなかった。曝露面に着目すると、促進耐候性試験 60 サイクル後の試験体と比較し、180 および 240 サイクル後の試験体では、曝露面においてリン元素の検出が少ない部分が多くなっている様子が観察された。また、曝露 3 年経過後の試験体においては、促進耐候性試験と比較し、曝露面においてリン元素の検出が低く、薬剤溶脱が曝露面において進行していると推察される。

図 8 および図 9 に ED-XRF による試験体断面のリン元素の検出量と防火性能の関係を示す。試験体断面全体のリン元素の検出値と防火性能には相関関係は確認されなかった。しかし、曝露面近傍のリン元素の検出値に絞った場合、リン元素の検出値が少ないほど防火性能が低下する傾向が観察され、曝露面近傍の薬剤溶脱が防火性能の低下に影響していると考えられる。

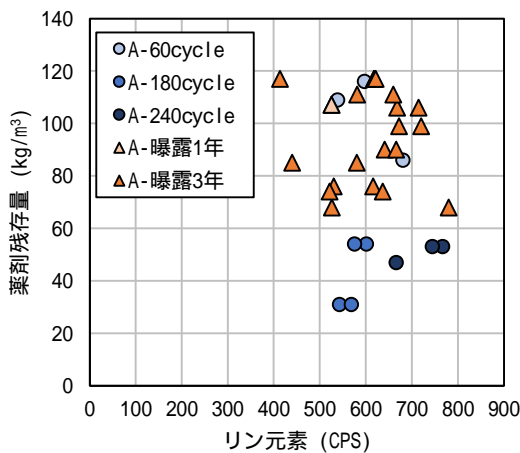


図6 薬剤 A 注入木材の耐候性試験後の薬剤残存量とリン元素の検出値との関係

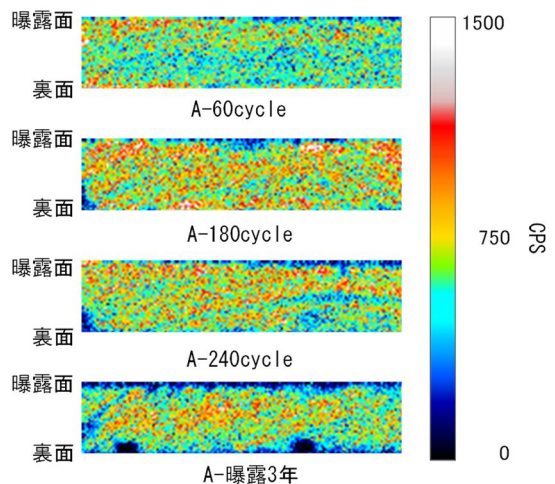


図7 薬剤 A 注入木材の耐候性試験後のリン元素の分布

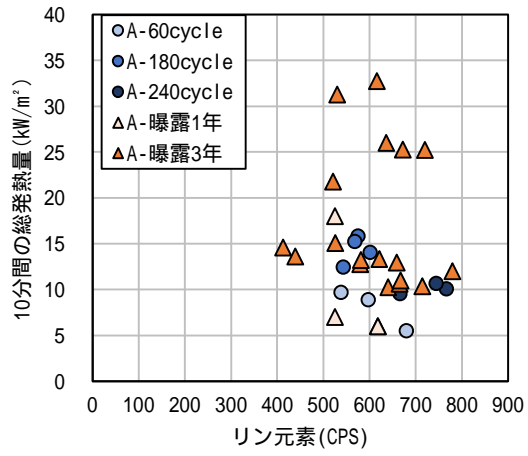


図 8 薬剤 A 注入木材の耐候性試験後のリン元素の検出値と防火性能の関係

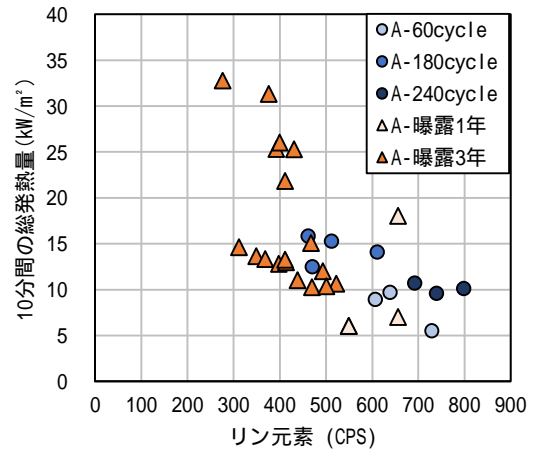


図 9 薬剤 A 注入木材の耐候性試験後の暴露面近傍のリン元素の検出値と防火性能の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------