

令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・
輸出促進対策のうち
CLT建築実証支援事業のうち
CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

難燃処理木材の屋外での需要拡大を図るための
防腐・防蟻・塗装等による屋外耐久性向上技術の
開発および、難燃等の性能評価
事業報告書

2022年（令和4年）2月

はじめに

公益社団法人日本木材保存協会は、令和2年度林野庁委託事業合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうちCLT建築実証支援事業のうち“CLT等木質建築部材技術開発・普及事業”として、難燃処理木材の屋外での需要拡大を図るための防腐・防蟻・塗装等による屋外耐久性向上技術の開発および、難燃等の性能評価事業を受託し、実施してまいりました。

近年、持続的な社会の構築を目的に、環境負荷が低く地球温暖化防止にも寄与する木質資源、とりわけ国産材の利用促進が積極的に展開されていますが、今後、より一層の木材の需要拡大には、非住宅建築物および、外構材への利用展開が必須であります。そのためには、木材に難燃処理を施し高い防火性を付与することが有力な方策の一つと考えられますが、現状では難燃処理木材の利用は室内に限られており、屋外での利用拡大のためには、性能の正確な把握とそれに基づく信頼性向上が必要です。本事業では屋外での難燃処理木材の挙動を正しく評価し、その性能にもとづき外構材としての利用推進を図ることを目的としました。難燃処理木材は、屋外で現し（建築ファサード）で用いられた場合、木材への雨がかりや木材自体の水分変化による膨潤・収縮により、基本的に水溶性である難燃薬剤が徐々に消失することが懸念されます。この懸念を払拭するには、屋外で用いた難燃処理木材の経年後の難燃性能を明確に示すことが重要となります。そのために、昨年（令和元年度）の事業では、屋外暴露試験地に3年間設置して劣化させた難燃処理木材、および、実験室で促進劣化試験（JIS A 1326：2019）を行った難燃処理木材について、燃え広がり試験（JIS A 1310：2015）により難燃性能を評価し、その性能は屋外に置いて少なくとも3年間は持続することを確認しました。

本年度の事業では、難燃性能に防腐・防蟻性能を付加して塗装処理した木材について促進劣化試験（JIS A 1326：2019）を行い、SBI試験（EN13823）および、着火性試験（ISO11925-2）の組み合わせにより難燃性能を評価し、促進劣化無しと促進劣化有りでは、いずれの試験体もEN13501-1の分類として不燃に準ずるクラスBと評価され、両者の間に有意差は見られませんでした。すなわち促進劣化試験（JIS A 1326：2019）を行っても難燃性能は維持できることが示されました。更に、促進劣化試験（JIS A 1326：2019）後に防腐・防蟻性能試験（JIS K 1571：2010）を行った結果、防腐・防蟻性能は低下しないことを確認しました。実際に屋外で用いられる難燃処理木材の性能向上方法について、一定の成果を得たものと確信しております。

本事業実施に当たってご協力を賜りました木構造振興(株)および、委員各位に厚く御礼申し上げます。本成果を踏まえ難燃性能に防腐・防蟻性能を付加した処理木材の屋外使用を促進し中大規模木造建築物など新たな需要拡大が展開することを期待しています。

2022年2月21日

委員長 京都大学名誉教授 今村祐嗣

目次

第1章 事業の概要	1
1.1 事業の背景	1
1.2 事業の目的	1
1.3 事業の実施体制	2
1.4 事業の実施スケジュール	3
1.5 スケジュールに沿った事業の実施概要	3
1.6 事業の経過	4
第2章 試験方法と結果	6
2.1 試験体の製作	6
2.2 促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019)	6
2.2.1 試験体の配置と各種試験	7
2.2.2 試験方法	8
2.2.3 試験結果	10
2.3 着火性試験 (ISO 11925-2)	14
2.4 SBI 試験 (EN13823)	15
2.5 防腐・防蟻性能試験 (JIS K 1571 : 2010)	19
2.5.1 防腐・防蟻薬剤処理した試験体の促進劣化後の防腐・防蟻性能	19
2.5.2 試験体の調製	19
2.5.3 試験方法	19
2.5.4 試験結果と考察	19
2.5.4.1 防腐性能試験	20
2.5.4.2 防蟻性能試験	21
2.6 屋外暴露試験 (木材表面の経年変化 (劣化))	22
2.6.1 難燃処理した木材の屋外環境下での性能確認	22
2.6.2 暴露試験片と暴露方法	22
2.6.3 暴露結果と考察	23
2.6.4 2種類の難燃薬剤処理木材の屋外暴露試験	30
参考文献	31
第3章 事業成果のまとめと今後の展開	32
3.1 事業成果の内容のまとめ	32
3.1.1 事業内容のまとめ	32

3.1.2	実施結果のまとめ	32
3.2	今後の展開	33
3.2.1	試験体面積の適正化	33
3.2.2	屋外暴露と室内促進劣化試験での難燃等薬剤の溶脱率の把握	34
3.2.3	各試験相互間の相関性の把握	34
3.2.4	燃焼試験と塗料の燃焼影響の把握	34
3.2.5	防腐・防蟻試験	34

別添 事業報告書 CD

第1章 事業の概要

1.1 事業の背景

2021年6月に策定された「森林・林業基本計画」では、森林を適正に管理して林業・木材産業を「持続性」を高めながら成長・発展させ、世界的な潮流である2050年カーボンニュートラル目標をも見据えて豊かな社会経済を実現していくことを基本方針としている。そして、2021年10月には「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が改正され、「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」として施行され、木材利用促進の対象が公共建築物から建築物一般に急速に拡大されつつある。

本事業は、中高層建築物等の木造化・木質化を促進するため、CLTや木質耐火部材等の技術開発・普及を支援する事業の中に位置付けられており、具体的には、難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を目指すものである。

建築物外壁の火災安全性は、伝統的に主に耐火性能（非損傷性、遮熱性、遮炎性）が考慮されているが、耐火構造建築物の外壁の外側に可燃物を施した場合、激しいファザード（躯体の外側部分）火災が発生した事例がある。

建築物外壁において木材の利用拡大を図るためには、難燃薬剤処理木材の建築ファザードでの火災を想定し、燃え広がり試験などの火災伝播に関わる試験を実施し、その性能を確認しておく必要がある。従来、難燃薬剤処理木材は主に内装材として利用されているため、屋外での過酷な気象条件下での難燃性能に関する試験データは皆無に近い。

そのため、本事業では難燃剤、防腐・防蟻剤、塗装処理した木材（以下、「試験体」という）を火災安全性に基づいて建築物外壁等に使用するため、難燃薬剤処理木材に対して促進劣化試験（JIS A 1326：2019 以下附番は記載しない）を行ない、それら試験体について、SBI試験（EN13823 以下附番は記載しない）、着火性試験（ISO 11925-2 以下附番は記載しない）を行い、屋外での経年的な難燃性能の変化を定量的に示すこととした。

1.2 事業の目的

日本の林業再生・地球温暖化防止等のため、木材の更なる利用促進が求められている。木材の需要拡大には、非住宅建築物や外構材等への利用を拡大していくことが必須となっている。難燃薬剤処理木材の利用は多くの場合、内装利用を目的としており、今後、屋外での利用拡大を図るためには、難燃剤処理に加えて防腐・防蟻剤、塗装処理を行うことが必須である。このため、本事業では試験体の屋外における経年的な性能変化を確認して、建築物外壁や外構材としての利用拡大を図ることを目的とした（図1）。

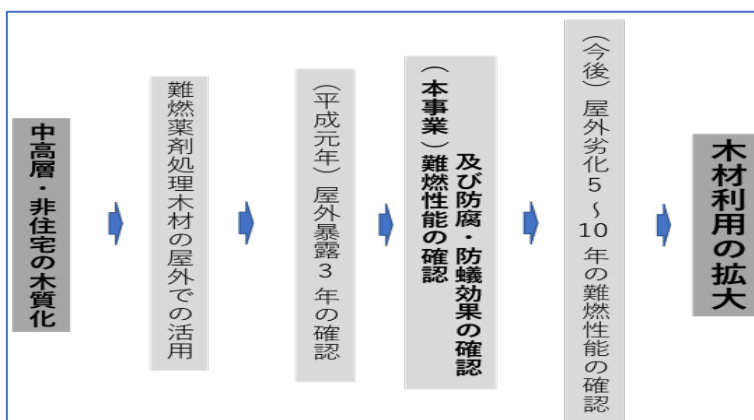


図1 本事業の目的と今後の工程

1.3 事業の実施体制

(公社)日本木材保存協会に事務局を置き、下記の委員により委員会を組織して(表1)事業を推進した。事業の分担と連携体制を図2に示す。

表1 事業推進委員の構成

	氏名	所属
委員長	今村 祐嗣	京都大学 (名誉教授)
委員	鮫島 正浩	東京大学 (名誉教授)
	野口 貴文	東京大学
	兼松 学	東京理科大学
	木口 実	日本大学
	毛利 嘉一	日本大学
	吉岡 英樹	(国研) 建築研究所
	上川 大輔	(国研) 森林総合研究所
	早川 哲哉	(株)東京システムバック
	杉山 和正	(株)プラセラム
	山口 秋生	越井木材工業(株)
	内藤 俊介	越井木材工業(株)
	手塚 大介	兼松サステック(株)
	五十嵐 盟	兼松サステック(株)
	須貝 与志明	(株)ザイエンス
	茂山 知己	(株)ザイエンス
事務局	鈴木 昭, 山本 幸一 小林 理恵	(公社)日本木材保存協会
オブザーバー	鈴木 竜也 (2021年5~12月) 高木 望 (2022年1~2月)	林野庁林政部木材産業課 木材製品調査班



図2 事業における各種試験の実行と関連性

1.4 事業の実施スケジュール

- 2021年 6月 第1回オンライン委員会開催
 7月～2022年2月 屋外暴露試験体の経年的な測定の実施 (日本大学)
 7～8月 試験体の製作
 (越井木材工業株, 株ザイエンス, 兼松サステック株)
 8～9月 促進劣化試験の実施 ((一財) 建材試験センター)
 10月～2022年2月 防腐・防蟻性能試験の実施 (一財) 建築研究協会)
 12月 着火性試験の実施 (東京理科大学)
 12月 SBI試験の実施 (建築研究所)
- 2022年 1月 第2回オンライン委員会開催
 2月 成果報告会の実施
 2月 成果報告書の完成 (日本木材保存協会)

1.5 スケジュールに沿った事業の実施概要

1. 第1回委員会の開催：試験の仕様を決定した。
2. 試験体の製作：越井木材工業株, 株ザイエンス, 兼松サステック株において製作し、試験体の半数は促進劣化試験を行わない促進劣化無しの試験体とし、残りの半数は促進劣化試験に供し促進劣化有りの試験体とした。なお、越井木材工業株製作の試験体は防腐・防蟻処理を付加していない。
3. 促進劣化試験：(一財) 建材試験センターにおいて、外装用難燃薬剤処理木質材料の

促進劣化試験により劣化させ、促進劣化有りの試験体とした。

4. 着火性試験：東京理科大学において、促進劣化無しと促進劣化有りの試験体について試験を行なった。

5. SBI 試験：(国研) 建築研究所において、促進劣化無しと促進劣化有りの試験体について試験を行なった。

6. 防霉・防蟻性能試験：(一財) 建築研究協会において、促進劣化有りの試験体について試験を行なった。

7. 屋外暴露試験：日本大学において、昨年度の事業で設置した暴露試験体の計測に加え、新たに作製した試験体の暴露を開始した。

8. 第2回委員会の開催：報告書の作成と成果報告会の内容について取り纏めを行った。

9. 成果報告会：WEB 開催となったため、発表の収録が行われた。

10. 成果報告書：印刷・製本を行い関係各位に配布し、日本木材保存協会のホームページに掲載した。

1.6 事業の経過

事業採択後より成果報告書の完成・提出までを時系列に示す。令和3年5月12日に木構造振興(株)への事業請負書の提出により事業を開始した。事業実施期間は、令和3年5月12日より令和4年2月21日迄である。以下に、事業の経過について説明する。

1. 第1回委員会：6月16日に Zoom による WEB 会議を開催し、事業目的の確認および、試験の実施内容と実施機関、試験の開始日等を決定した。

2. 促進劣化試験用の試験体固定用の枠の製作：8月に(株)ソーケン(草加市)にて試験体固定用枠2体(4㎡/体)を製作した。

3. 促進劣化試験：(一財) 建材試験センター中央試験所において、試験体 A, 試験体 B, 試験体 C の重量を測定した後、それぞれの試験体を試験体固定用の枠に張り付けて、試験を2回に分けて実施した。試験開始日は、第1回目は8月25日、第2回目は9月27日で、試験期間は27日間である。

4. 着火性試験：東京理科大学において12月8日、9日に、促進劣化無しと促進劣化有りの試験体について実施した。

5. SBI 試験：試験は、(国研) 建築研究所において12月14日～17日に、促進劣化無しと促進劣化有りの試験体について実施した。

6. 防霉・防蟻試験：10月から、(一財) 建築研究協会に依頼して試験を実施した。

7. 屋外暴露試験：日本大学において、昨年度事業で設置した試験体については7月と2022年1月に経年的な測定を実施した。この間に、今年度に作製した試験体の屋外暴露を開始した。

8. (公社) 日本木材保存協会の難燃性部会：2022年1月24日に Zoom による WEB 会議を開催し、事業報告書の内容と今後の取り組み課題を検討し、下記の第2回委員会に提案

した。

9. 第2回委員会：2022年1月25日にZoomによるWEB会議を開催し、事業内容の実施状況、各試験の結果を反映した事業報告書（案）が説明され了解された。事業報告書の最終版の制作に向けて、不足する資料等の提供が要請された。

10. WEB 報告会：CLT等木質建築部材技術開発・普及事業の報告会が2022年3月7日より24日までWEBで開催された。本事業は全26課題の中の一つであり、(国研)建築研究所の吉岡英樹氏が発表した。

第2章 試験方法と結果

2.1 試験体の製作

試験体は、試験体製作3社（それぞれA試験体、B試験体、C試験体を担当）において難燃薬剤をスギ材に加圧注入して作製された。加圧注入時の寸法はA試験体では135 mm（幅）×22 mm（厚さ）×1,000 mm（長さ）、B試験体では122 mm（幅）×19 mm（厚さ）×1,200 mm（長さ）、C試験体では125 mm（幅）×21 mm（厚さ）×1000 mm（長さ）であった。なお、B試験体とC試験体においては、防腐・防蟻剤処理後に難燃薬剤処理が行われた。試験体は一定期間養生を行い、促進劣化試験に供する試験体の寸法（1000 mm×120 mm×18 mm）に調整し、その後、塗装処理した。

処理薬剤等はA試験体では、難燃薬剤はリン酸アミノ系、防腐・防蟻剤は用いず、塗料は含浸形アルキド系であった。B試験体では、難燃薬剤はリン・窒素系、防腐・防蟻剤はアゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系、塗料は造膜形ウレタン系であった。C試験体では、難燃薬剤はホウ酸・リン酸アンモニウム系、防腐・防蟻剤はアゾール・ネオニコチノイド化合物系、塗料は造膜形ウレタン系であった。

A試験体の促進劣化無しの試験体の難燃薬剤吸収量の平均値は120kg/m³（偏差7 kg/m³）であり、促進劣化有りの難燃薬剤吸収量の平均値は121kg/m³（偏差7 kg/m³）であった。

B試験体の促進劣化無しの試験体の難燃薬剤吸収量の平均値は167kg/m³（偏差6 kg/m³）であり、促進劣化有りの難燃薬剤吸収量の平均値は167kg/m³（偏差6 kg/m³）であった。

C試験体の促進劣化無しの試験体の難燃薬剤吸収量の平均値は204kg/m³（偏差10 kg/m³）であり、促進劣化有りの難燃薬剤吸収量の平均値は210kg/m³（偏差9 kg/m³）であった。なお、防腐・防蟻剤の吸収量はB試験体では9.0kg/m³、C試験体では0.32 kg/m³であった。

試験体の塗装は、A試験体では3面（表面と2側面）、B試験体では6面（全面）、C試験体では6面（全面）について行った。塗料の塗布量はA試験体では、平均80 g/m²、B試験体では260g/m²、C試験体では210g/m²であった。

2.2 促進劣化試験（JIS A 1326：2019）

屋外での実際の暴露を想定して促進劣化試験方法¹⁾を（一財）建材試験センターで実施した。本方法は、火災安全上の観点から、燃えにくくすることを目的に薬剤で処理された木質材料を建築物の外装に使用した場合に、風雨にさらされたときおよび、経年劣化したときの火災安全性能の低下を評価する標準的な試験方法を定めた日本工業規格である。

令和元年の事業で行った促進劣化試験では規格が定める所定の劣化サイクル180回で試験を行ったことから、今回の令和2年度事業でも同じサイクル数とした。規格で規定しているサイクル数180回は、千葉県内陸部での屋外暴露の約3年相当であることが報告²⁾されており、昨年の事業においても劣化サイクル180回は、関東地域での屋外暴露3年に相当することが確認されている³⁾。

促進劣化試験の解説では、建築に用いられる塗料、建築用仕上げ塗材などの置いては、

サンシャインカーボンアークランプ式耐候性試験，キセノンランプ式耐候性試験などの紫外線劣化の促進を意図した耐候性試験が一般化されてはいるが，促進劣化の前後に行う燃え広がりを抑制する効果の持続性の確認試験で必要とする面積を紫外線によって促進劣化させる手法については検討が不十分であると判断し，促進劣化には紫外線的作用を組み入れないとされている。その結果，難燃薬剤の溶脱を防止するような機能をもつ塗装などを施した場合には評価ができないことから，これら塗料などの適用は除外したとなっている。本事業では，以上の点は承知して塗装を施した試験体について促進劣化試験を行った。これは，外装として用いる木材には，気象劣化の抑制により耐久性を確保するため，通常は塗装を施すことを考慮したためである。

2.2.1 試験体の配置と各種試験

各種試験とは，SBI 試験，着火性試験，防腐・防蟻試験で，各試験に供する劣化促進有り試験体は，図3に示す配置で作製した。

SBI 試験のための材料面積は 2.2425 m²であり，19 枚の板材（1000 mm×120 mm）が必要となるため，材料番号 1～16，18～21 を用いた。着火性試験では，材料寸法（250 mm×90 mm）の試験体 6 枚が必要であり，材料番号 22 と 23 から採材した。防腐・防蟻試験の試験体（20 mm×20 mm×10 mm）は各条件でそれぞれ 50 個が必要であり，材料番号 17 から採材した。

促進劣化試験を行う場合，促進劣化試前後の試験体間の寸法の変化を把握する必要があるが，（一財）建材試験センターで測定した報告では，寸法の変化は極めて少ないことから本報告書への記載は割愛した。

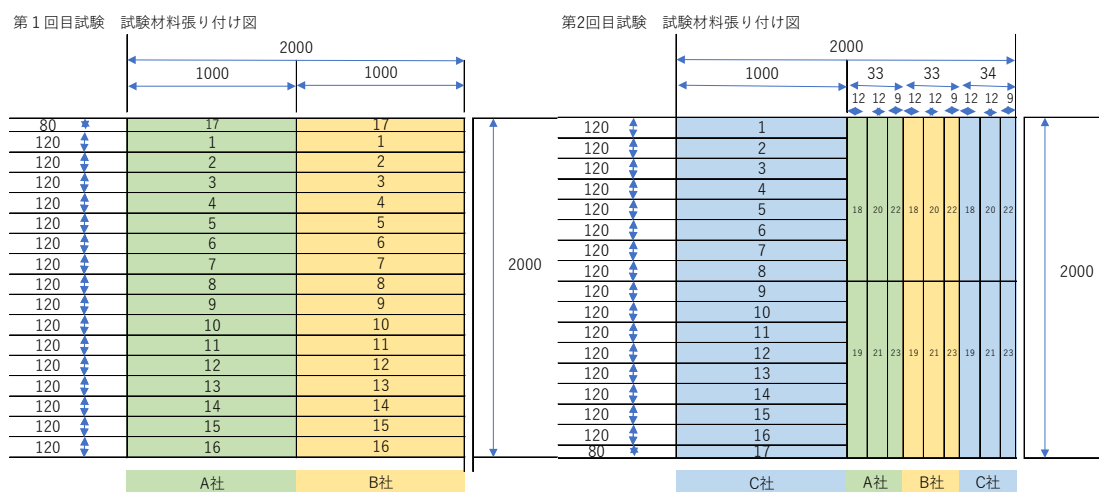


図3 促進劣化試験の試験体の配置図

2.2.2 試験方法

試験は、JIS A 1326 : 2019 の 4 促進劣化試験により行った。4.8 促進劣化後の試験項目および、試験方法に従い、促進劣化による試験片の a) 質量減少率の測定および、c) 外観の目視観察を行った。なお、b) 難燃薬剤減少率については、a) のデータが試験体の種類により大きく変動したため計算は行わなかった。質量減少率は促進劣化前の質量と促進劣化後の質量から差異により計算した。促進劣化後の質量は、促進劣化 180 サイクル終了後 $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ の条件下で 24 時間加熱照射により乾燥させ、その後 2 週間養生してから測定した。

促進劣化試験の試験条件を表 2 に、試験装置の概要を図 4 に、外気側の試験体表面温度と外気側の空気温度の測定位置を写真 1 に、促進劣化試験中の試験体の外気側表面温度、外気および、室内温湿度測定結果（開始直後の 3 サイクル）を図 5 に、試験状況を写真 2 ～写真 5 に示す。

表 2 促進劣化試験の試験条件

項目		乾燥過程 (ランプ照射)	散水過程	サイクル数
外気側表面	温度	$80 \pm 3^{\circ}\text{C}^{\text{a}}$	制御なし	180 回 (1 サイクル 3.5 時間)
	時間	1.5 時間	2 時間	
外気側空気	温度	制御なし		
室内側空気	温湿度	$20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, 60%以下		

注 ^{a)} 製品により日射吸収率が異なるため、加熱過程においては外気側表面温度が $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ を超える試験体がある。

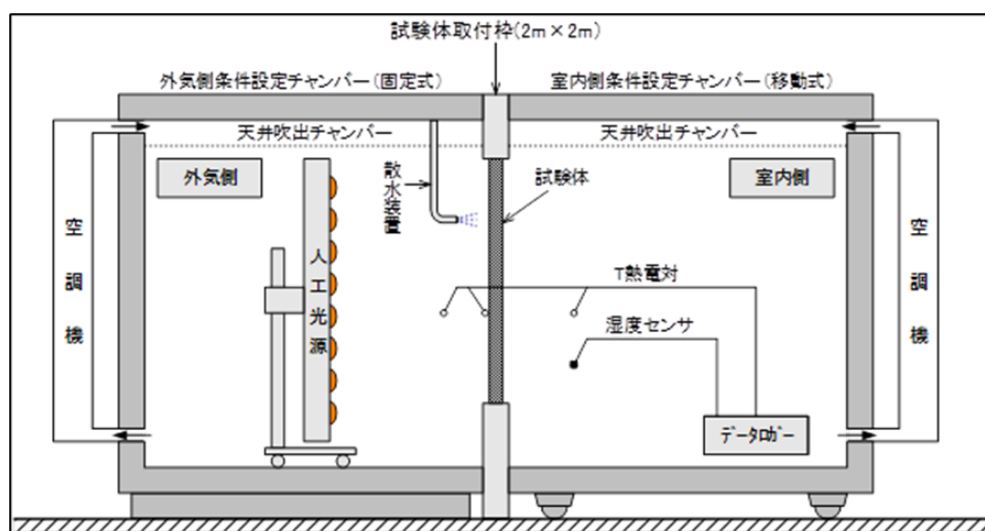


図 4 促進劣化試験装置の概要

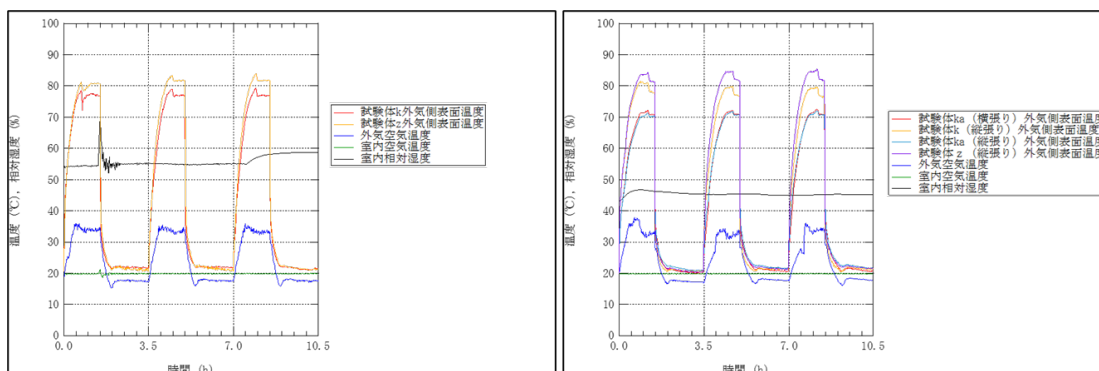


図5 試験体外気側表面温度，外気および，室内温湿度測定結果

左は第1回目試験で表面温度は試験体A（横張り）で77°C，試験体B（横張り）で80～82°Cとなった。右は第2回目試験で表面温度は試験体A（縦張り）で77～81°C，試験体B（縦張り）で82～85°C，試験体C（横張り・縦張り共に）で70～72°Cとなった。試験体の表面温度は赤外線ランプによる加熱のため試験体の色調に影響され，調整を行ったが試験体間で温度差が生じた（規格における表面温度条件は $80 \pm 3^\circ\text{C}$ と規定されているがその範囲内に収めることは出来なかった。）。



写真1 空気温度と試験体表面温度の測定位置（第1回目試験）



写真2 赤外線ランプによる加熱の状況（第1回目） 写真3 散水の状況（第1回目）



写真4 試験体前面（第2回目試験の開始前） 写真5 試験体前面（第2回目試験散水配管）

2.2.3 試験結果

規格では 4.8 促進劣化後の試験項目および、試験方法として、促進劣化試験後の試験体の a) 質量減少率と c) 外観目視の測定を規定している。

質量減少率の測定結果を表4に示す。質量減少率は、試験体 A では 0%～5% の範囲で生じており平均値は 2% となった。試験体 B では、質量が増加したものと質量が減少したものがほぼ半々であり、質量減少率の平均値は 0% となった。試験体 C では、全ての試験体で質量増加が 1%～19% の範囲で見られ平均値は 7% となった。

本促進劣化試験では、2.2 で解説したように、「塗装などを施した」試験体の評価は行わないことから、以下の考察は参考に留めるべきとした。試験体の質量減少の傾向が試験体間で大きく異なった要因は、塗装形（含浸形、造膜形など）の相違であろうと推察した。すなわち、試験体 A は含浸形塗装のため、造膜形塗装（試験体 B と試験体 C）に比較して散水が試験体表面から浸入し易く、難燃薬剤の一部が溶脱し 2%の質量減少が生じたと考えられる。昨年度の事業における試験体 A（塗装無し）の質量減少率は 9%であったことから、文献の結果⁴⁻⁶⁾も踏まえ、塗装により薬剤の溶脱はかなり抑えられることが推察された。一方、造膜形である試験体 B と試験体 C では、質量減少率の傾向が大きく異なったが、塗料形や塗布量の相違など、その要因は今後の課題とした。

表 3 促進劣化試験による試験体の質量減少率

試験体 番号	試験体A			試験体B			試験体C		
	質量 (g)		質量減少率 (%)	質量減少率		質量減少率 (%)	質量 (g)		質量減少率 (%)
	初期	促進劣化後		初期	促進劣化後		初期	促進劣化後	
1	639	621	3	740	766	+4	1460	1483	+2
2	838	821	2	1153	1158	+0	1449	1604	+11
3	745	716	4	1111	1114	+0	1292	1395	+8
4	969	955	1	1172	1181	+1	1282	1352	+6
5	894	884	1	1179	1176	0	1515	1685	+11
6	727	706	3	1156	1156	0	1415	1495	+6
7	758	739	3	1143	1142	0	1383	1416	+2
8	738	703	5	1181	1180	0	1315	1564	+19
9	747	727	3	1185	1183	0	1367	1404	+3
10	922	909	1	1174	1166	1	1286	1349	+5
11	930	816	2	1153	1165	+1	1428	1482	+4
12	767	742	3	1147	1162	+1	1372	1435	+5
13	716	700	2	1217	1210	1	1402	1465	+5
14	892	875	2	1183	1195	+1	1311	1502	+15
15	735	708	4	1116	1128	+1	1333	1350	+1
16	873	859	2	1160	1190	+3	1439	1495	+4
17	943	929	2	1193	1203	+1	—	—	—
18	944	942	0	1239	1230	1	1401	1475	+5
19	866	851	2	1295	1275	2	1311	1361	+4
20	925	920	1	1295	1279	1	1430	1512	+6
21	917	900	2	1229	1217	1	1359	1481	+9
平均			2			0			+7

C 試験体のNo.17 の質量は生物試験用のため未測定

外観目視については、ひび割れの発生の有無、剥離の発生の有無、溶出物質の有無、変色・退色の状況を確認して記録することとされている。外観目視の観察結果を表 5 に示す。ひび割れの発生は、試験体 A、試験体 B、試験体 C とともに無かった。一方、剥離の発生は、試験体 C において微小なものが認められた。溶出物質の有無は、無しであると（一財）建

材試験センターからは報告されているが（表4）、試験体 A、試験体 B、試験体 C ともに木材表面や目地や釘穴などに難燃薬剤の溶脱によると思われる白色の物質（白華）が認められた。変色・退色は試験体 A、試験体 B、試験体 C ともに程度の差はあるが認められた。

表4 促進劣化試験の試験体の外観目視観察結果

	試験体A	試験体B	試験体C
ひび割れの発生の有無	無	無	無
剥離の発生の有無	無	無	有 (微小剥離が4枚)
溶出物質の有無	無	無	無
変色・退色などの状況	有	有	有

促進劣化前と促進劣化後の試験体外観の状況の一例を、写真 6～写真 8 に示す。試験体 A、試験体 B、試験体 C ともに剥離、変色、白華等は極めて少なかったが、それらの中で若干目立つものを選択して提示した。

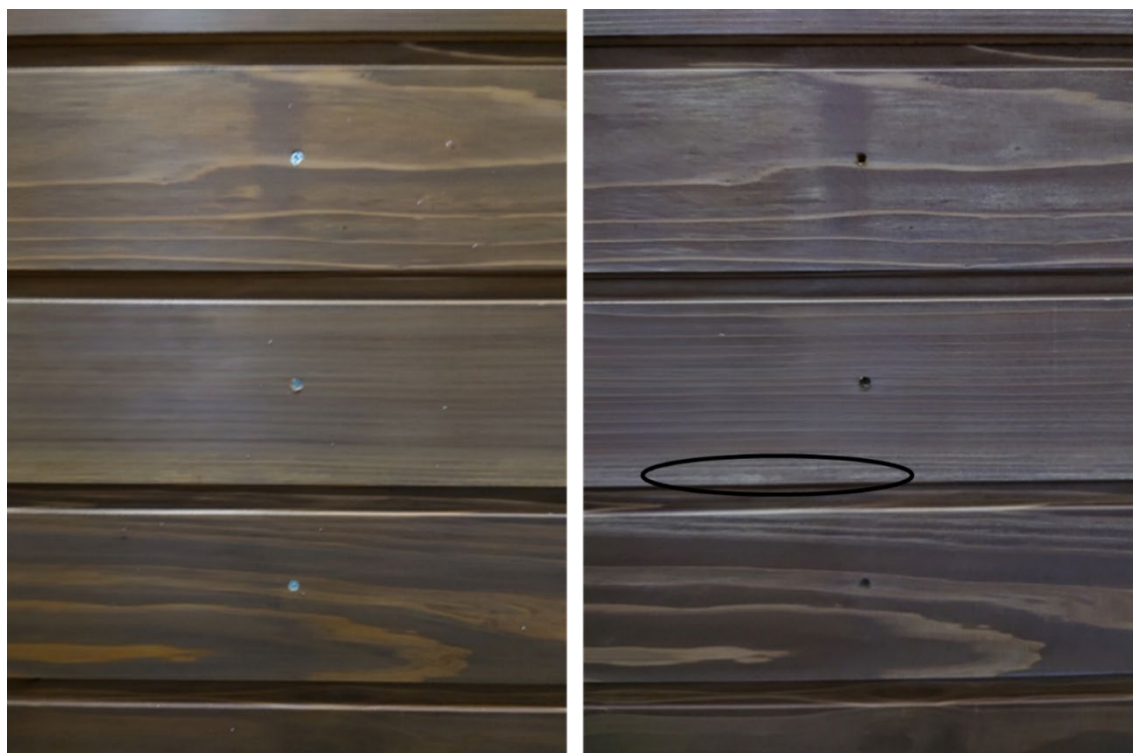


写真6 試験体 A の促進劣化前（左）と促進劣化後（右）の外観

右側写真の実線楕円内は年輪幅の狭い箇所での難燃薬剤によると思われる白色化を示す。



写真7 試験体 B の促進劣化前（左）と促進劣化後（右）の外観

右側写真の実線楕円内は目地からの難燃薬剤と思われる白色物質の出現を示す。



写真8 試験体 C の促進劣化前（左）と促進劣化後（右）の外観 右側写真の実線楕円内は釘打ち箇所から難燃薬剤と思われる白色物質が出現，破線楕円内は塗膜の微小割れから白色物質の出現を示す。

2.3 着火性試験⁷⁾ (ISO11925-2)

東京理科大学野田キャンパス 火災科学研究センター実験棟にて実施した。本着火性試験は、2.4 における SBI 試験法の結果と併せて、欧州建築材料のクラス分け (EN13501-1 以下附番は記載しない) における欧州性能等級 (EUROCLASS 以下附番は記載しない) を判定 (2.4 の表 12 を参照) するために行った。

試験体寸法は、 250 ± 2 mm(長さ)、 90 ± 2 mm(幅)、60 mm以下 (厚さ) と規定されており、本試験では 250 ± 0.7 mm(長さ)、 90 ± 1.9 mm(幅)、 18 ± 0.6 mm (厚さ) であった。加熱面は、エッジ (端部) 加熱とサーフェス (表面) 加熱がそれぞれ 3 試験体で行なわれた。接炎時間は 30 秒、接炎開始からの観察継続時間は 60 秒であった。

試験装置の概要を写真 9 に、試験体の加熱状況を写真 10 と写真 11 に、試験結果の一覧表を表 5～8 に示す。試験体 A、試験体 B、試験体 C とともに、接炎後 60 秒の間に接炎部から 150 mmの位置に達する火炎が無く、滴下 (有炎滴下物あるいは有炎落下物) も無くフィルター紙への着火が無かった。本試験の結果は、SBI 試験の結果と併せ (表 9～11)、欧州建築材料のクラス分けにおける欧州性能等級の判定 (表 12) に使用した。



写真 9 試験装置

写真 10 エッジ (端部) 加熱

写真 11 サーフェス (表面) 加熱

表 5 A 難燃薬剤処理試験体の着火試験試験結果

測定項目	促進劣化無し エッジ接炎			促進劣化無し 表面接炎			促進劣化有り エッジ接炎			促進劣化有り 表面接炎		
	A-1-1	A-1-2	A-1-3	A-2-1	A-2-2	A-2-3	A-3-1	A-3-2	A-3-3	A-4-1	A-4-2	A-4-2
試験体番号	A-1-1	A-1-2	A-1-3	A-2-1	A-2-2	A-2-3	A-3-1	A-3-2	A-3-3	A-4-1	A-4-2	A-4-2
重量 (g)	183.3	161.2	155.1	190.8	153.5	160.1	136.5	139.5	141.2	156.4	153.5	150
着火の有無	×	×	×	×	○	×	×	×	×	×	×	×
150mm位置に達する 火炎の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
150mm位置に達する 火炎の時間 (S)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
滴下の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
フィルター紙の着火	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
火炎高さ (mm)	30	30	30	40	50	40	20	20	20	40	40	40
試験面	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表

表6 B 難燃薬剤処理試験体の着火試験試験結果

測定項目	促進劣化無し エッジ接炎			促進劣化無し 表面接炎			促進劣化有り エッジ接炎			促進劣化有り 表面接炎		
	B-1-1	B-1-2	B-1-3	B-2-1	B-2-2	B-2-3	B-3-1	B-3-2	B-3-3	B-4-1	B-4-2	B-4-2
試験体番号	B-1-1	B-1-2	B-1-3	B-2-1	B-2-2	B-2-3	B-3-1	B-3-2	B-3-3	B-4-1	B-4-2	B-4-2
重量 (g)	221.3	211	206.9	214.9	213.7	217.4	226.9	224.5	217.2	208	205.2	206.6
着火の有無	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
150mm位置に達する 火炎の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
150mm位置に達する 火炎の時間 (S)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
滴下の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
フィルター紙の着火	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
火炎高さ (mm)	60	100	90	60	100	90	50	70	60	100	100	50
試験面	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木裏	木裏	木裏	木表	木表	木表

表7 C 難燃薬剤処理試験体の着火試験試験結果

測定項目	促進劣化無し エッジ接炎			促進劣化無し 表面接炎			促進劣化有り エッジ接炎			促進劣化有り 表面接炎		
	C-1-1	C-1-2	C-1-3	C-2-1	C-2-2	C-2-3	C-3-1	C-3-2	C-3-3	C-4-1	C-4-2	C-4-2
試験体番号	C-1-1	C-1-2	C-1-3	C-2-1	C-2-2	C-2-3	C-3-1	C-3-2	C-3-3	C-4-1	C-4-2	C-4-2
重量 (g)	244	212	216.9	236.3	262.6	273.8	240.9	244.5	282.9	212.9	236.2	278.2
着火の有無	×	×	×	○	○	○	×	×	×	○	○	○
150mm位置に達する 火炎の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
150mm位置に達する 火炎の時間 (S)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
滴下の有無	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
フィルター紙の着火	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
火炎高さ (mm)	20	20	20	60	40	50	30	30	30	50	50	60
試験面	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木表	木裏	木裏	木裏

表8 無処理試験体の着火試験試験結果

測定項目	難燃薬剤処理なし エッジ接炎			難燃薬剤処理なし 表面接炎		
	D-1-1	D-1-2	D-1-3	D-2-1	D-2-2	D-2-3
試験体番号	D-1-1	D-1-2	D-1-3	D-2-1	D-2-2	D-2-3
重量 (g)	137.1	137.9	136.5	156	157.3	151.9
着火の有無	○	○	○	○	○	○
150mm位置に達する 火炎の有無	×	×	×	×	×	×
150mm位置に達する 火炎の時間 (S)	—	—	—	—	—	—
滴下の有無	×	×	×	×	×	×
フィルター紙の着火	×	×	×	×	×	×
火炎高さ (mm)	50	50	40	70	50	60
試験面	木表	木表	木表	木表	木表	木表

2.4 SBI 試験⁸⁾ (EN13823)

(国研) 建築研究所 防耐火実験棟にて SBI 試験を行った。本 SBI 試験は火災成長速度を測定するもので、試験体寸法は、短翼 1500±5 mm(高さ), 495±5 mm(幅)で、長翼 1500±5 mm(高さ), 1000±5 mm(幅)の L 字型で、200 mm以下(厚さ)と規定されており、本試験では短翼 1500±5 mm(高さ), 495±5 mm(幅)で、長翼 1500±5 mm(高さ), 1000±5 mm(幅)の L 字型で、18±0.6 mm(厚さ)であった。写真 12 に試験装置を、写真 13 に長翼試験体の作製状況を示す。試験体はスギ幅木を介してケイ酸カルシウム板に固定した。

L字型のコーナー部分の床面に40mm幅の軽量溝形鋼（U-profile）を介して接する正三角形のプロパンバーナーから発熱速度30kWの火炎により20分の加熱を行い、発熱速度を測定し、規定に従った計算式によって火災成長速度（ $FIGRA_{0.2MJ}$ ・ $FIGRA_{0.4MJ}$ ）および、加熱開始から10分間の総発熱量（ THR_{600s} ）を求めた。試験体A、試験体B、試験体Cの試験結果の一覧表を表5～7に示す（LFS：翼部の水平方向の火炎伝播距離、SMOGRA：煙成長速度の測定は本試験では対象外として行わなかった。）。試験の状況を写真14～16に示す。

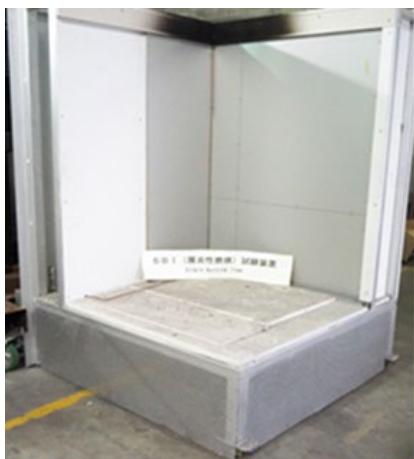


写真12 SBI試験装置



写真13 長翼試験体の作製状況



写真14 SBI試験の燃焼開始前
左下コーナー部は種火



写真15 SBI試験の燃焼中



写真16 SBI試験の終了後

表9 A 難燃薬剤処理試験体の SBI 試験結果

EN 13823	A 社			
	促進劣化無し		促進劣化有り	
試験体名	A-1		A-2	
測定項目	平均値	適合合否	平均値	適合合否
FIGRA _{0.2MJ} [W/s]	56.0	-	84.0	-
FIGRA _{0.4MJ} [W/s]	31.0	-	56.0	-
THR _{600s} [MJ]	2.3	-	2.6	-
LFS < 端部	-	適合	-	適合
SMOGRA [m2/s2]	実施せず	-	実施せず	-
TSP _{600s} [m2]	実施せず	-	実施せず	-
火炎を伴なう滴下物				
- 火炎 < 10 s	-	適合	-	適合
- 火炎 > 10 s	-	適合	-	適合

表10 B 難燃薬剤処理試験体の SBI 試験結果

EN 13823	B 社			
	促進劣化無し		促進劣化有り	
試験体名	B-1		B-2	
測定項目	平均値	適合合否	平均値	適合合否
FIGRA _{0.2MJ} [W/s]	396.0	-	397.0	-
FIGRA _{0.4MJ} [W/s]	383.0	-	384.0	-
THR _{600s} [MJ]	4.7	-	3.9	-
LFS < 端部	-	適合	-	適合
SMOGRA [m2/s2]	実施せず	-	実施せず	-
TSP _{600s} [m2]	実施せず	-	実施せず	-
火炎を伴なう滴下物				
- 火炎 < 10 s	-	適合	-	適合
- 火炎 > 10 s	-	適合	-	適合

表11 C 難燃薬剤処理試験体の SBI 試験結果

EN 13823	C 社			
	促進劣化無し		促進劣化有り	
試験体名	C-1		C-2	
測定項目	平均値	適合合否	平均値	適合合否
FIGRA _{0.2MJ} [W/s]	45.0	-	46.0	-
FIGRA _{0.4MJ} [W/s]	22.0	-	18.0	-
THR _{600s} [MJ]	0.9	-	1.1	-
LFS < 端部	-	適合	-	適合
SMOGRA [m2/s2]	実施せず	-	実施せず	-
TSP _{600s} [m2]	実施せず	-	実施せず	-
火炎を伴なう滴下物				
- 火炎 < 10 s	-	適合	-	適合
- 火炎 > 10 s	-	適合	-	適合

SBI 試験結果の評価は、欧州建築材料のクラス分けに基づいて（表 12）、火災反応性能（reaction to fire performance）の分類を行った。その結果、試験体 A および、試験体 C はクラス B、試験体 B がクラス D と判定された。このクラス B は、欧州建築材料のクラス分けによれば、実大区画火災試験（ISO9705-2 以下附番は記載しない）300kW 加熱でもフラッシュオーバーは起こらないと分類される。クラス D は、実大区画火災試験 100kW 加熱 2 分後にフラッシュオーバーが起こると分類される（参考にクラス C は、実大区画火災試験で、前半 10 分 100kW 加熱、後半 10 分 300kW 加熱ではフラッシュオーバーが起らないが、300kW 加熱ではフラッシュオーバーが起こる分類とされる。）。3 種類の試験体は共に、概ね同レベルの難燃薬剤処理を行ったことから、試験体 B がクラス D となった要因は、試験体の塗料が試験開始直後に急激に燃焼したことが大きく影響したものと考えられる。

また、促進劣化無しと促進劣化有りの関係では、いずれの製品も欧州建築材料のクラス分けの分類としての有意差は見られなかった。すなわち、本試験では火災成長速度評価が主眼であるため、同クラスであれば総発熱量の差異の大小で優劣を与えるべき事項ではないので、差異は無いと見なした。

なお、欧州建築材料のクラス分けにおいて、促進劣化処理を行った難燃薬剤処理木材が、不燃に準ずるクラス B と評価であったことは大きな意義があり、難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大に道を開いたものと言える。このため次年度以降の事業では、実大区画火災試験等を実施し、更に実証試験を推進していく必要がある。

表 12 欧州建築材料のクラス分けにおける SBI 試験および、着火試験組合せ試験結果による分類基準

建設製品と建築要素の火災分類 床製品および直管断熱製品を除く			
分類基準			
分類試験方法	B	C	D
EN ISO 11925-2 接炎 = 30 s	60 秒以内の $F_p \leq 150$ mm EN ISO 11925-2の紙に着火すると、d2分類になる。		
EN 13823	FIGRA0.2MJ < 120 W/s LFS < 試験片の端部 THR600s < 7.5 MJ	FIGRA0.4MJ < 250 W/s LFS < 試験片の端部 THR600s < 15 MJ	FIGRA0.4MJ 750 W/s
追加分類			
煙生成	s1 = SMOGRA < 30 m ² /s ² 及び TSP600s < 50 m ² ; s2 = SMOGRA < 180 m ² /s ² 及び TSP600s < 200 m ² ; s3 = s0又はs1ではない		
火炎を伴う滴下物・火炎を伴う落下物	d0 = EN 13823において600秒以内に火炎を伴う滴下物・落下物 d1 = EN 13823において600秒以内に10秒以上持続するような火炎を伴う滴下物・落下物がない d2 = d0又はd1ではない		

2.5 防腐・防蟻性能試験(JIS K 1571:2010)

2.5.1 防腐・防蟻薬剤処理した試験体の促進劣化後の防腐・防蟻性能

屋外利用を目的とした難燃薬剤処理木材に防腐・防蟻性能を付加した木材の防腐・防蟻性能に関する研究は極めて少ない⁹⁾。そのため、難燃薬剤と防腐・防蟻薬剤を処理した木材について、促進劣化試験後の防腐・防蟻性能を JIS K 1571:2010 木材保存剤一性能基準及びその試験方法¹⁰⁾に準拠して評価した。

なお、本試験の目的が、促進劣化試験によって防腐・防蟻性能が保持されているか否かを確認することであるため、切り出した試験片の断面は樹脂でシールし、また、規格に定められている耐候操作（水浸と乾燥の繰り返し）は行わずにそのまま試験に供した。

2.5.2 試験体の調製

促進劣化試験後の試験体（B 試験体と C 試験体の各 1 枚）について、上部の 10 cm を外した部位から下方に向かい 20 mm×20 mm（厚さ 18 mm）の試験片を 50 個切り出した（写真 17 図 6）。それぞれの試験片については、切断面の 4 面をエポキシ樹脂でシールし、十分に樹脂が硬化した後に試験に供した。



写真 17 試験体からの防腐・防蟻試験片の部位

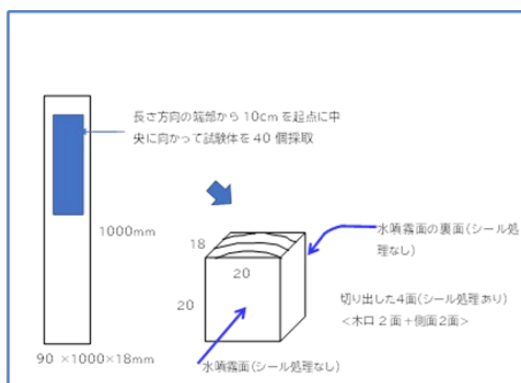


図 6 試験片の寸法と方向性

2.5.3 試験方法

JIS K 1571:2010 「木材保存剤一性能基準及びその試験方法」のうち、5.2 防腐性能、5.2.1 室内試験、5.2.1.1 注入処理用、および 5.3 防蟻性能、5.3.1 室内試験、5.3.1.1 注入処理用に従った。試験体の寸法、切断面のシール、耐候操作（無し）についてはすでに記載の通り（対照材としてのスギ無処理材は処理材と同形状であるがシールは行っていない）。試験期間は防腐試験が 12 週間、防蟻試験が 3 週間である。

2.5.4 試験結果と考察

防腐性能試験結果を表 13 および、図 7、防蟻性能試験結果を表 14 および、図 8 に示す。防腐性能試験では、スギ無処理対象材は木材腐朽菌であるオオウズラタケとカワラタケにより大きな質量減少率を示したが、B 試験体、C 試験体ともに質量減少率は認められなかった。防蟻性能試験では、スギ無処理対象材はイエシロアリにより大きな質量減少率を示したが、B 試験体、C 試験体ともに質量減少率は認められなかった。

2.5.4.1 防腐性能試験

防腐試験は、オオウズラタケ、カワラタケを培養した瓶中に滅菌した試験片のシール面を側面にして静置することで実施した（写真 18）。補正試験については腐朽菌を培養した瓶をオートクレーブで滅菌し、瓶中に試験片を静置することによって行った。対照材料として規格に定めるスギ辺材（20 mm×20 mm×10 mm）をシールせずに培養瓶に静置し、腐朽菌の活性を評価した。

表 13 防腐性能試験結果

	供試菌名	質量減少率 % *		特記事項
		平均	標準偏差	
兼松	オオウズラタケ	0	0	菌糸は試験体を被覆していない
	カワラタケ	0	0	菌糸は試験体を被覆していない
ザイエンス	オオウズラタケ	0	0	菌糸は試験体を被覆していない
	カワラタケ	0	0	菌糸は試験体を被覆していない
無処理スギ	オオウズラタケ	25	4	菌糸は試験体を被覆した
	カワラタケ	14	2	菌糸は試験体を被覆した

* 質量減少率は補正後の値として示した。兼松の補正の平均質量減少率は 32%であったが、ザイエンスの方は質量が増加した（7～12%）。



写真 18 防腐効力試験 (4 週間経過)
(左：オオウズラタケ右：カワラタケ)

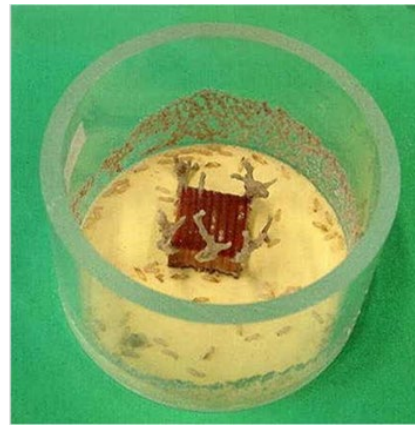


写真 19 防蟻効力試験
(スギ対照 3 週間経過)

2.5.4.2 防蟻性能試験

防蟻試験方法は、底面を硬石膏で固めたアクリル製の円筒容器の中に試験片をプラスチック製の網を介して置き、イエシロアリの職蟻 150 頭と兵蟻 15 頭を入れることで実施した (写真 19)。補正試験については、イエシロアリを放虫せず試験片だけを同条件に静置することで行った。対照材料として規格に定めるスギ辺材 (20 mm×20 mm×10 mm) はシールせずに供試し、イエシロアリの活性を評価した。試験期間は 3 週間とし、質量減少率、イエシロアリの死虫率を測定した。

表 14 防蟻性能試験結果

試験体	死虫率 %		質量減少率 % *		特記事項
	平均	最小-最大	平均	最小-最大	
兼松	72	25 - 100	0	0 - 0	
ザイエンス	42	7 - 46	0	0 - 0	
無処理スギ	7	5 - 9	16	14 - 18	

* 質量減少率は補正後の値として示した。兼松の補正の平均質量減少率は 18%であったが、ザイエンスの方はほとんど変化が無かった。

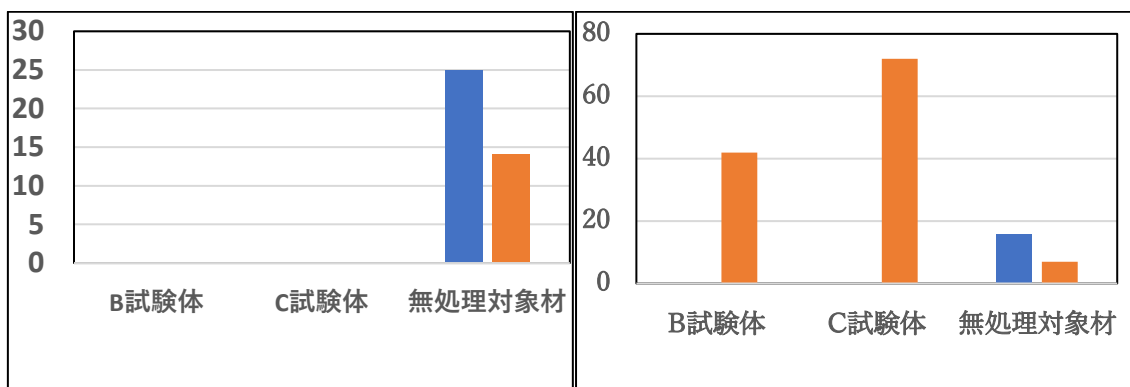


図7 木材腐朽菌による質量減少率

図8 イエシロアリによる質量減少率

2.6 屋外暴露試験（木材表面の経年変化（劣化））

2.6.1 難燃処理した木材の屋外環境下での性能確認

難燃処理木材は、屋外で現し（建築ファサード）で用いられた場合、木材への「雨がかり」や木材自体の水分変化による膨潤・収縮により、水溶性の難燃薬剤が徐々に消失することが懸念されている。この懸念を払拭するには、屋外で用いた難燃処理木材の経年後の難燃性能を明確に示すことが重要となる。

そのため、昨年度の事業では難燃薬剤処理木材の屋外環境下における難燃性能の経年的低下を定量的に把握するため、屋外暴露架台での暴露試験を2020年10月6日から開始した。暴露試験の詳細は以下に記すが、試験により難燃薬剤処理木材の経年的な薬剤溶脱性および、耐候性すなわち木材表面変色・白華の測定を行った。

2.6.2 暴露試験片と暴露方法

暴露試験の方法は東西南北垂直暴露試験であり、建物周囲の気象環境が方位により大きく異なるため、小型の建物外壁を想定したものである。これにより、実際の建物に難燃処理木材を設置した場合の設置環境の違いによる、薬剤溶脱性および、木材表面劣化現象を把握することができる。

- ①試験片：スギ辺材 柾目材（目試験片（L：150 mm× T：55 mm× R：18 mm）
- ②難燃薬剤：リン酸系難燃処理薬剤 PCW4
- ③注入量：固形分 約 35kg/m³（約 5 g/枚）
- ④塗装処理：木材保護塗料 ノンロット N205 クリアーナチュラル色（溶剤タイプ、含浸形塗料）
- ⑤塗布量：約 100g/m²（約 2.5g/m²）
- ⑥試験片調製：
 - i. 難燃薬剤注入＋塗装処理（15枚）
 - ii. 難燃薬剤注入＋無塗装（15枚）
 - iii. 難燃薬剤注入処理無し＋塗装処理（15枚）
 - iv. 難燃薬剤注入処理無し＋塗装処理無し（15枚）

⑦屋外暴露方法：東西南北各面垂直暴露

⑧暴露試験地：神奈川県藤沢市 日本大学生物資源科学部 8号館 2階屋上)

(北緯 35 度 22 分 82 秒 80、東経 139 度 46 分 90 秒 08、標高 49m)

⑨暴露開始日：2020 年 10 月 6 日

⑩測定項目：薬剤溶脱量、表面色差、東西南北各面表面温度および、積算日射量

写真 20 で示す通り、東西南北各面に面した垂直暴露架台を製作し、これに各種試験片を取り付けて屋外暴露試験を開始した。測定項目は、薬剤溶脱量、表面変色、白華現象の観察等である。

⑪暴露試験片

i. 難燃薬剤注入処理+塗装処理試験片 No.1~15

ii. 難燃薬剤注入処理+無塗装試験片 No.16~30

iii. 難燃薬剤注入処理無し+塗装処理試験片 No.31~45

iv. 難燃薬剤注入処理無し+塗装処理無し試験片 No.46~60



写真 20 暴露試験片取り付け

2.6.3 暴露結果と考察

図 9, 10, 11 にそれぞれ暴露 3 ヶ月後, 9 ヶ月後, 15 ヶ月後における東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片からの薬剤溶脱量 (質量減少率) を示す。値は全て各条件での試験片 3 枚の平均値である。試験片の平均質量減少率は, 暴露 3 ヶ月後の塗装有り 2.3%, 塗装無し 2.9%, 暴露 9 ヶ月後の塗装有り 3.1%, 塗装無し 3.8%, 暴露 15 ヶ月後塗装有り 4.1%, 塗装無し 5.1%であり, 暴露期間と共に増加する傾向を示し, 塗装処理をした方が質量減少率は少ないがその差は 1%程度であった。

暴露の方位では, 暴露 15 ヶ月において塗装有りで西面 4.5%, 北面 4.1%, 南面 4.0%, 東面 3.7%, 塗装無しで西面 5.3%, 南面 5.1%, 北面 5.0%, 東面 5.0%であり, 西面が最も減少率が大きい傾向を示したが, 暴露面に違いによる差は 1%以下であった。西面の質量減少率が大きい理由としては, 暴露試験地の気象観測データ (表 13, 表 14) の風向におい

て、4月から9月の気温が高く降水量が多い季節の最多風向が西南西であり、西寄りの風により降雨が西面に多くなったことが一つの原因ではないかと考えられる。

薬剤を注入処理していない試験片でも暴露15ヶ月後には塗装有りで平均0.9%、塗装無しで1.6%の質量減少が見られ、これは木材表面の紫外線劣化による木材構成化学成分の低分子化と水溶性化によるものであり、塗装処理により質量減少は抑制される傾向が見られた。

垂直暴露による各面の変色については、図12、13、14にそれぞれ暴露3ヶ月後、9ヶ月後、15ヶ月の色差 ΔE^* 値を示す。表面変色は、難燃薬剤処理の有無にかかわらず塗装処理により大幅に抑制される傾向を示した。薬剤処理の有無では、薬剤処理した試験片の方が変色は小さい傾向を示し、その差は暴露期間と共に大きくなった。暴露面の違いでは、変色は西面が最も大きく、次いで東面と南面となり、北面が最も小さかったが、各面間の差は暴露15ヶ月後でも色差で5程度であった。

写真21~24に各試験片の暴露9ヶ月後の東面、西面、南面、北面それぞれの状態を示す。垂直暴露による各面の塗装状態には、まだ塗料等の剥離や顔料の脱離は見られなかった。無塗装試験片は全て灰色化していた。難燃処理した試験片については、薬剤の溶脱による白華現象は少なかった。

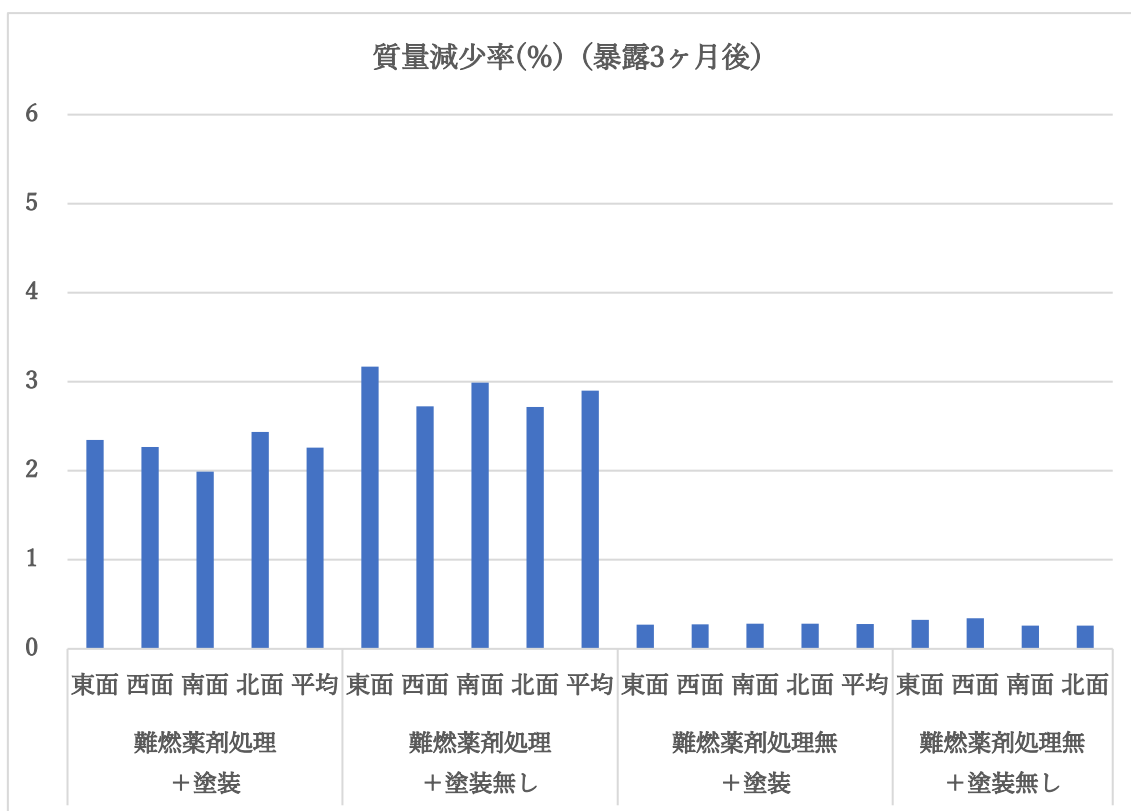


図9 難燃薬剤処理と塗装の有無の相違がある試験片の暴露3か月後の質量減少率

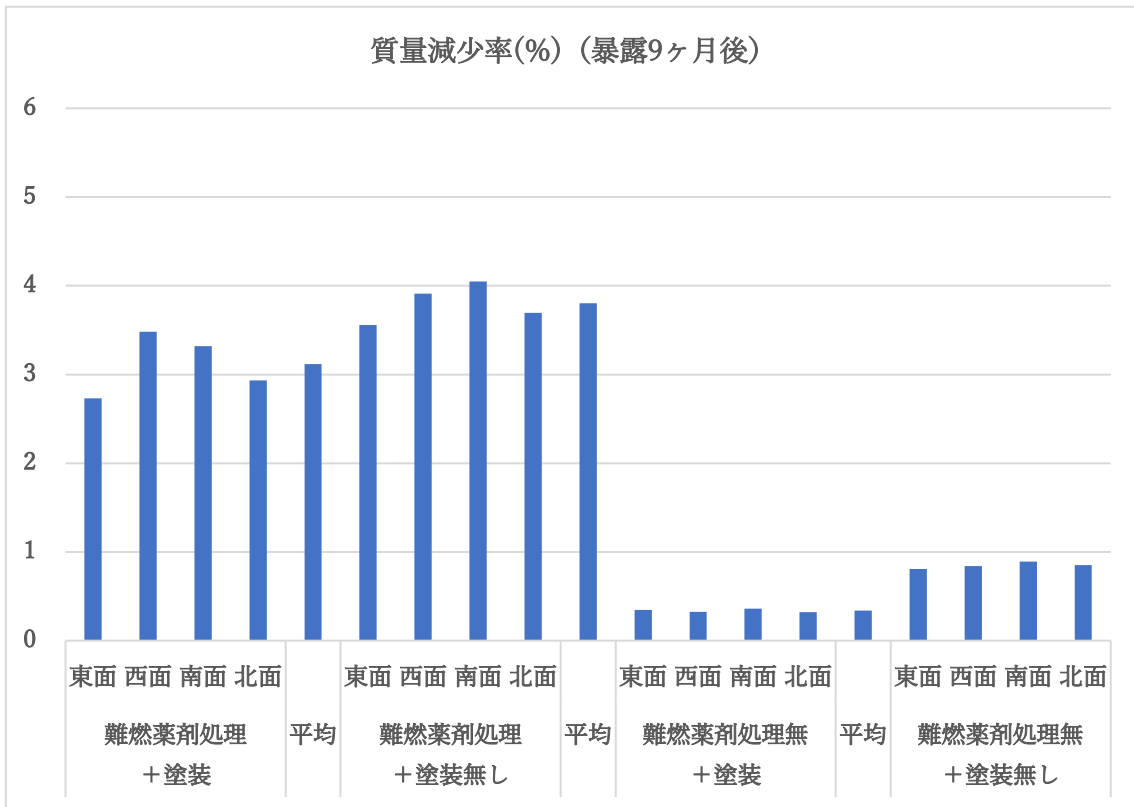


図 10 難燃薬剤処理と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 9 か月後の質量減少率

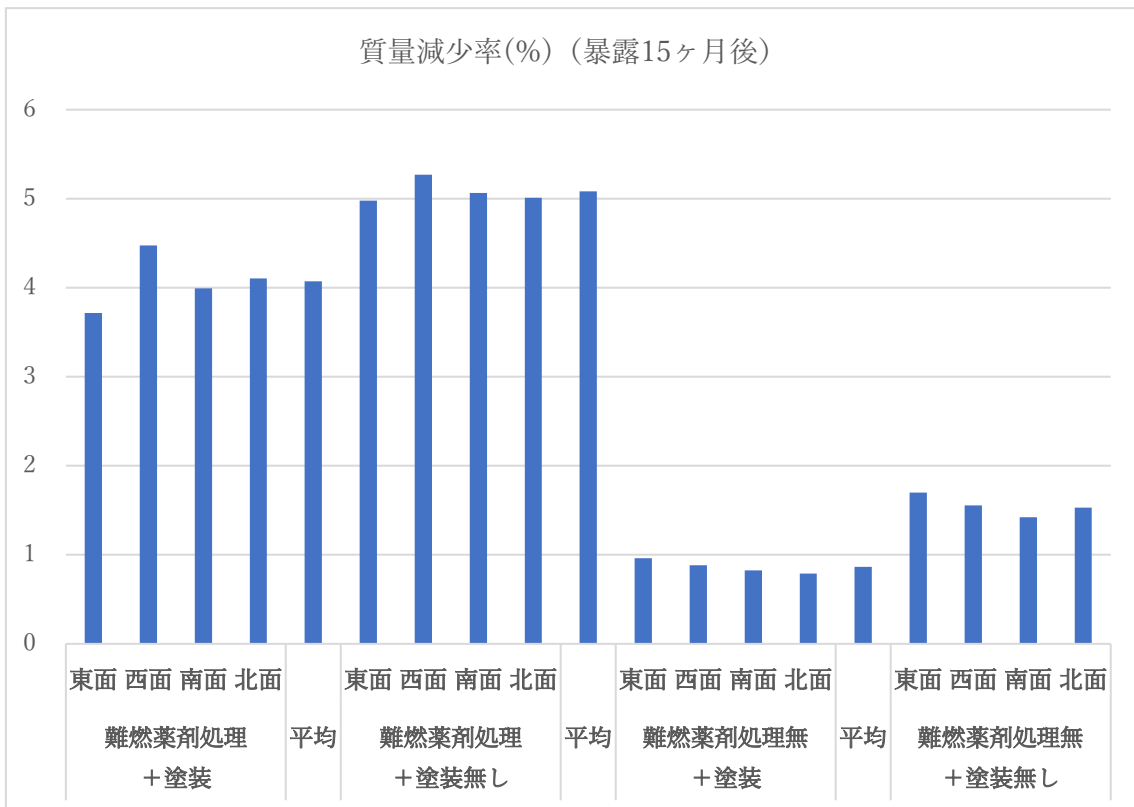


図 11 難燃薬剤処理と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 15 か月後の質量減少率

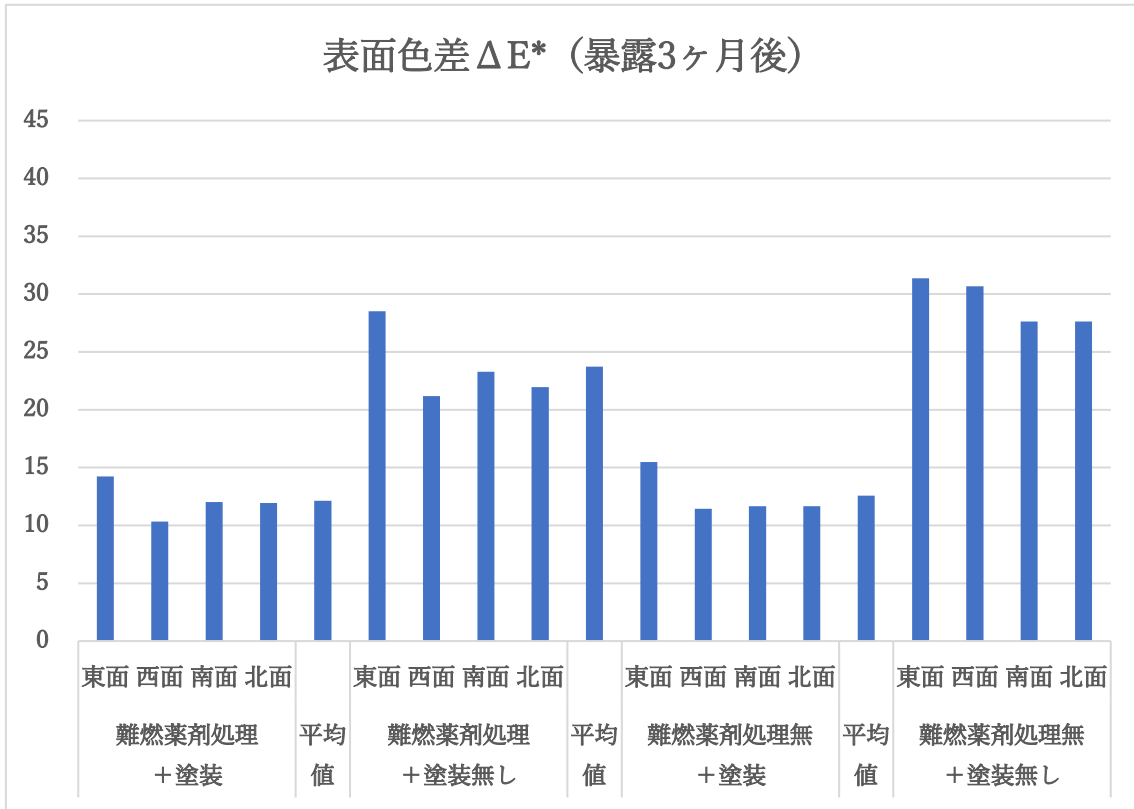


図 12 難燃薬剤処理と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 3 か月後の表面色差 ΔE^*

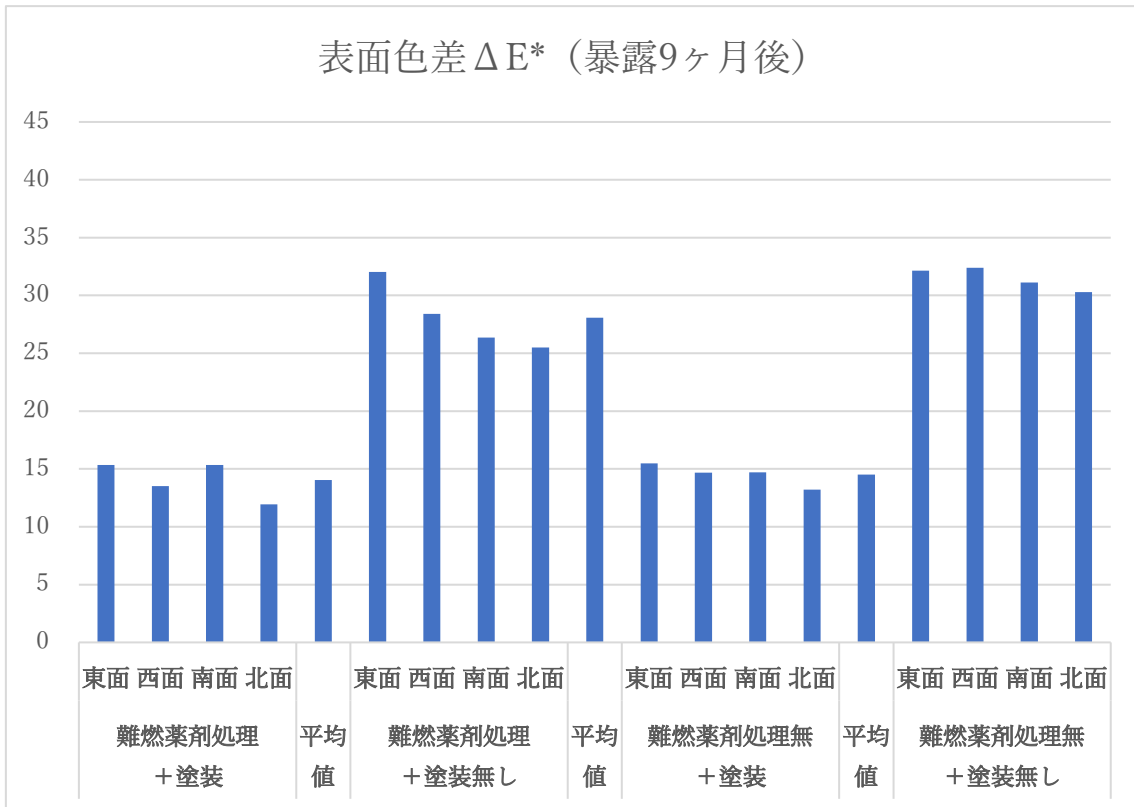


図 13 難燃薬剤処理の有無と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 9 か月後の表面色差 ΔE^*

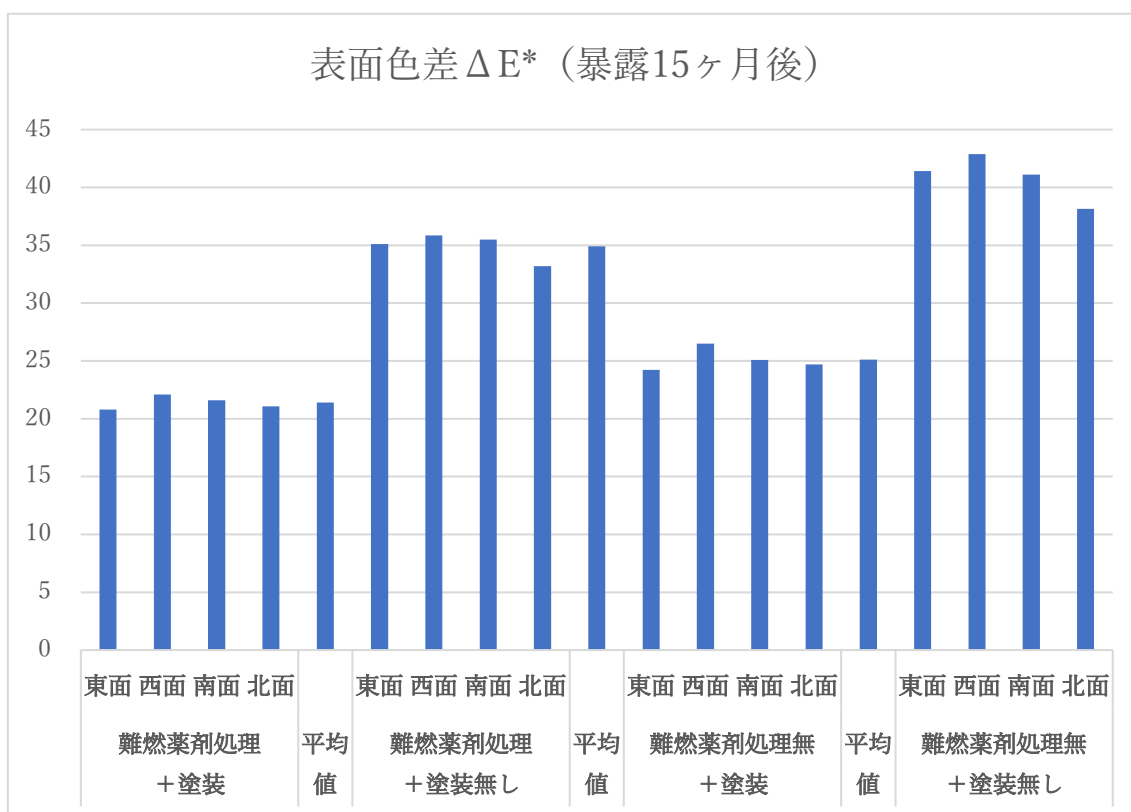


図 14 難燃薬剤処理と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 15 か月後の表面色差 ΔE^*

表 15 暴露場の気象データ (気温)

日本大学藤沢キャンパス 2021年屋外暴露場気象データ (月毎)

NAME: FSR CITY: Fujisawa STATE: Kanagawa
 ELEV: 49 m LAT: 35< 22' 59" LONG: 139< 46' 59"

TEMPERATURE (<C), HEAT BASE 18.3, COOL BASE 18.3

YR	MO	MEAN		MEAN	DEP. FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	MAX >=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-18
		MAX	MIN												
21	1	9.4	-0.1	4.1	0.0	30	0	12.7	31	-0.7	30	0	0	2	0
21	2	13.8	3.2	8.8	0.0	268	1	21.4	21	-1.6	19	0	0	4	0
21	3	17.5	8.6	12.9	0.0	172	4	24.1	30	3.6	4	0	0	0	0
21	4	19.5	10.7	15.0	0.0	107	9	23.8	21	6.7	11	0	0	0	0
21	5	22.9	16.3	19.4	0.0	19	46	28.1	18	10.8	3	0	0	0	0
21	6	26.6	19.6	22.6	0.0	0	130	30.8	9	16.0	1	0	0	0	0
21	7	29.6	23.3	25.9	0.0	0	236	33.8	25	19.8	2	6	0	0	0
21	8	30.7	24.6	27.3	0.0	0	279	35.2	10	18.7	15	12	0	0	0
21	9	26.2	19.7	22.7	0.0	0	132	32.4	23	17.4	27	1	0	0	0
21	10	22.6	15.1	18.5	0.0	58	65	29.2	6	9.0	23	0	0	0	0
21	11	18.7	9.7	13.9	0.0	136	5	23.0	3	2.7	28	0	0	0	0
21	12	13.4	3.6	8.2	0.0	312	0	20.3	12	-2.2	27	0	0	4	0
		21.9	14.0	17.7	0.0	1104	906	35.2	AUG	-2.2	DEC	19	0	10	0

表 16 暴露場の気象データ (降水量と風向風力)

日本大学藤沢キャンパス 2021年屋外暴露場気象データ (月毎)														
降水量・風向風力														
PRECIPITATION (mm)														
YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DAYS OF RAIN OVER			YR	MO	AVG.	HI	DATE	WIND SPEED (m/s)	
					DATE	.2	2						20	DIR
21	1	0.0	0.0	0.0	1	0	0	0	21	1	0.3	4.9	30	SSE
21	2	94.0	0.0	87.0	15	2	2	1	21	2	1.3	17.9	17	ESE
21	3	227.4	0.0	104.4	13	11	7	3	21	3	1.3	17.9	2	ESE
21	4	164.8	0.0	56.8	17	8	7	2	21	4	1.4	14.8	18	WSW
21	5	128.2	0.0	57.8	27	12	8	1	21	5	1.3	16.1	2	WSW
21	6	153.2	0.0	27.8	4	16	12	3	21	6	1.0	14.3	4	WSW
21	7	437.4	0.0	185.0	3	13	10	3	21	7	0.9	10.7	28	WSW
21	8	349.1	0.0	99.8	15	15	12	5	21	8	1.4	17.0	9	WSW
21	9	281.0	0.0	160.2	18	19	11	3	21	9	1.0	11.2	18	ENE
21	10	142.1	0.0	83.4	1	16	9	1	21	10	1.1	15.2	1	NE
21	11	153.6	0.0	92.2	9	6	4	3	21	11	0.9	13.9	24	ENE
21	12	124.0	0.0	63.4	1	9	6	1	21	12	0.9	17.0	1	ENE
		2254.9	0.0	185.0	JUL	127	88	26			1.1	17.9	FEB	ENE

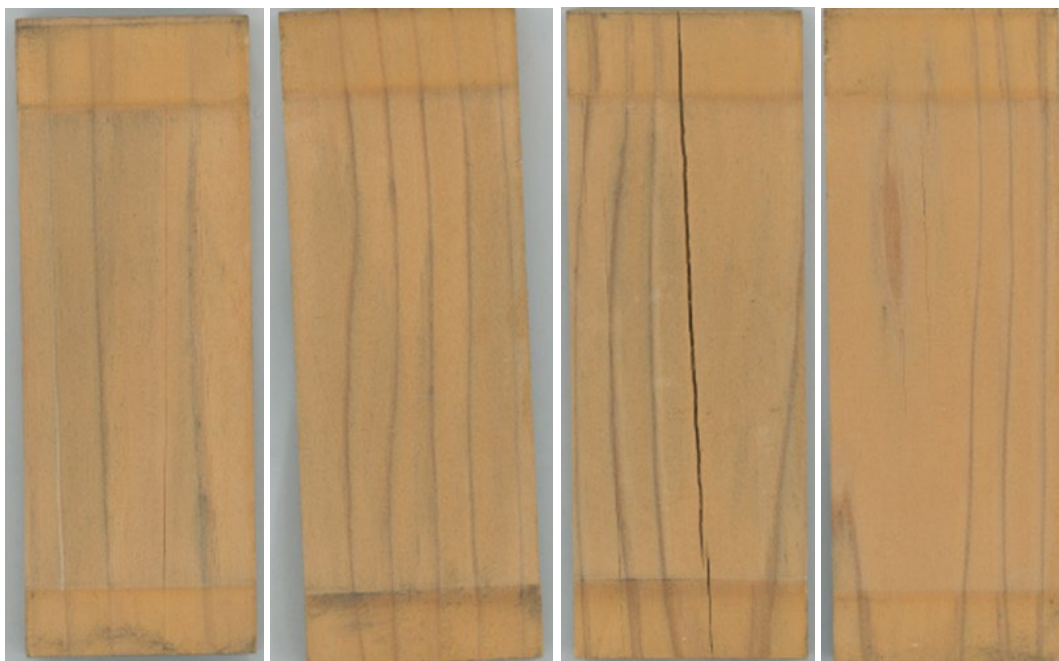


写真 21 屋外暴露試験 9 ヶ月後の①難燃処理+塗装処理試験片の状態
左から東面, 西面, 南面, 北面

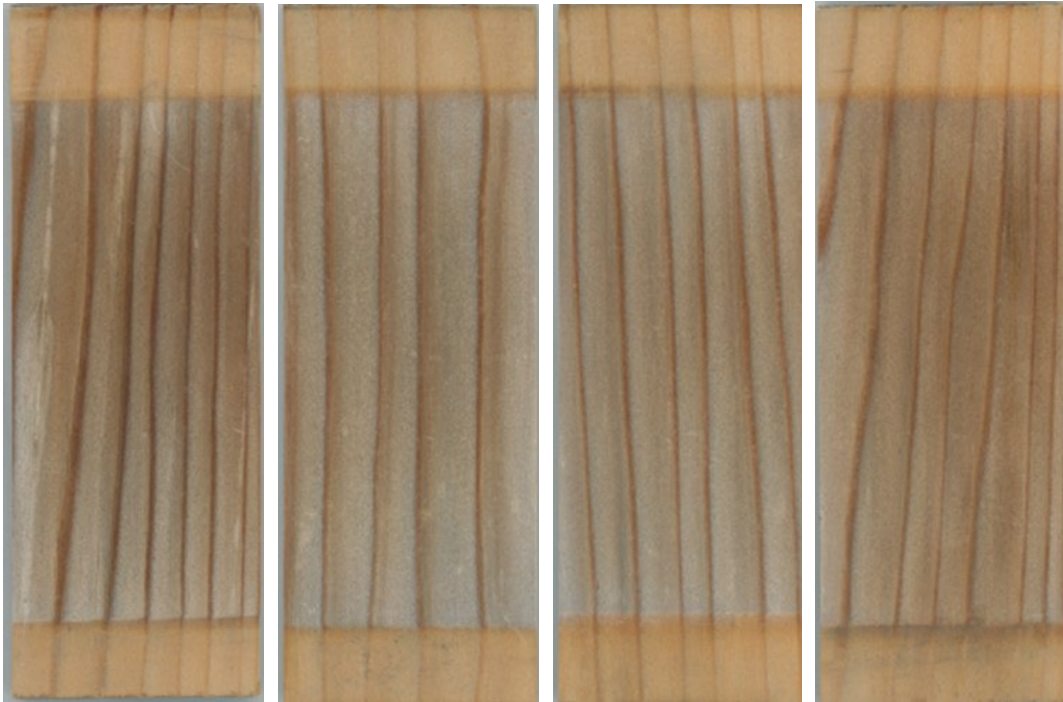


写真 22 屋外暴露試験 9 ヶ月後の②難燃処理+塗装無し試験片の状態
左から東面, 西面, 南面, 北面

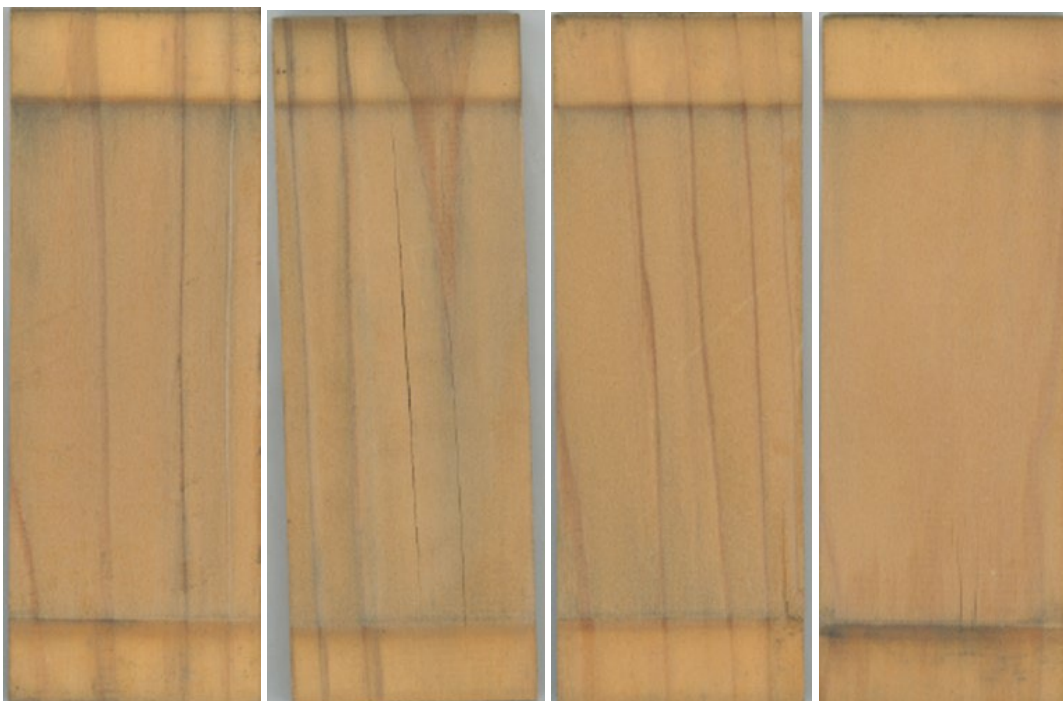


写真 23 屋外暴露試験 9 ヶ月後の③難燃処理無し+塗装処理試験片の状態
左から東面, 西面, 南面, 北面

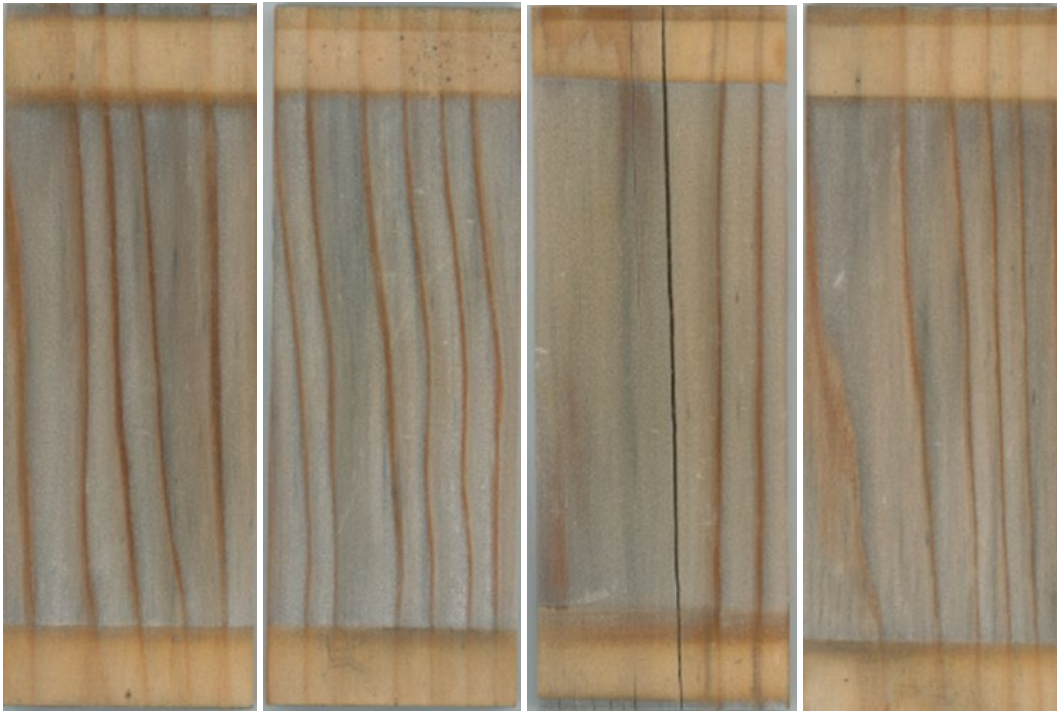


写真 24 屋外暴露試験 9 ヶ月後の④難燃処理無し+塗装無し試験片の状態
左から東面, 西面, 南面, 北面

2.6.4 2 種類の難燃薬剤処理木材の屋外暴露試験

2 社の難燃薬剤処理試験体である試験体 B, 試験体 C について, 東西南北の各面に垂直暴露する耐候性評価試験を 2022 年 1 月から開始した。屋外暴露は, 日本大学生物資源科学部 8 号館屋上屋外暴露場において行っている。試験片は, 難燃処理薬剤を注入後, 塗装無し試験片各 10 枚, 塗装試験片各 10 枚 (2 社は造膜形塗料, 1 社は含浸形塗料塗装) である。今後, 屋外暴露による薬剤の溶脱 (質量減少率), 変色 (色差 ΔE^*), 表面性状観察を行い, 難燃薬剤の種類, 塗装の影響, 暴露方位の影響と共に気象データとの関係から考察する。

参考文献

- 1) 日本産業規格：外装用難燃薬剤処理木質材料の促進劣化試験方法，JIS A 1326:2019. 日本規格協会.
- 2) 中村 美紀, 兼松 学, 西尾 悠平, 吉岡 英樹, 萩原 伸治, 杉田 敏之, 清水 賢, 野口 貴文：外装用難燃処理木材の経年劣化を考慮した防火性能評価に関する研究，日本建築学会技術報告集/25 巻 60 号，p. 709-714 (2019).
- 3) 公益社団法人日本木材保存協会：令和元年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業「難燃処理木材の外構材への利用拡大を図るための屋外使用における難燃性評価試験事業成果報告書」2021 年 2 月.
- 4) 原田寿郎，片岡厚，松永浩史，上川大輔，亀岡裕史，木口実：屋外暴露後の難燃処理塗装木材の耐候性と防火性能，木材保存，39(1)，16-23 (2013).
- 5) 原田寿郎，上川大輔，片岡厚，石川敦子，亀岡祐史：5 年間屋外暴露後の難燃処理塗装木材の防火性能，木材保存，43(6)，322-327 (2017).
- 6) 高瀬 椋，石川敦子，上川大輔，松永浩史，原田寿郎：難燃処理塗装木材からの薬剤溶脱に及ぼす吸湿の影響 —促進耐候性試験におけるぬれ時間の効果—，木材保存，46 (2)，80-88 (2020) .
- 7) ISO 11925-2 :2020: Reaction to fire tests – Ignitability of products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test.
- 8) EN 13823:2014: Reaction to fire tests for building products – Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item.
- 9) Mitchell S. Sweet, Susan L. LeVan, Robert H. White, Hao C. Tran, Rodney De Groot: Fire performance of wood treated with combined fire-retardant and preservative systems, USDA Forest Service, Research Paper FPL-RP-545 (1996).
- 10) 日本産業規格：「木材保存剤—性能基準および、、、その試験方法」，JIS K 1571：2010. 日本規格協会.

第3章 事業成果のまとめと今後の展開

3.1 事業成果のまとめ

3.1.1 実施内容のまとめ

木構造振興(株)から事業の採択を得て、令和3年5月12日に事業を開始した。直ちに事業委員会（略称）を組織して、事業を進めた。

第1回委員会をWEB会議で6月16日に開催し、事業目的の確認、試験の実施内容および、実施機関と時期等を決定した。

その後、直ちに参画企業により難燃薬剤等処理試験体として、それぞれ試験体A、試験体B、試験体Cが製作され、促進劣化試験用試験体は、(一財)建材試験センター中央試験所に送られた。

促進劣化試験のための試験体固定用枠2体（4㎡/体）は、(株)ソーケン（草加市）にて製作され、(一財)建材試験センター中央試験所に納入された。

促進劣化試験は(一財)建材試験センター中央試験所にて行われた。3種類の試験体の重量を測定した後、各試験体は(株)ソーケンにより試験体固定用枠に張り付けられ、2回に分けて促進劣化試験が実施された。第1回目は8月25日に、第2回目は9月27日に試験を開始し、試験期間はそれぞれ27日間であった。

着火試験は、3種類の試験体について促進劣化試験有りと促進劣化試験無しの試験体を対象とし、東京理科大学にて12月8日、9日に実施された。

SBI試験においても、3種類の試験体について促進劣化試験有りと促進劣化試験無しの試験体を対象とし、(国研)建築研究所にて12月14日～17日に実施された。SBI試験においては、試験体製作各社は、自社の試験に立ち合った。

防腐・防蟻試験は、(一財)建築研究協会に依頼して実施した。防腐・防蟻処理を施した試験体B、試験体Cの促進劣化試験有りの試験体について試験した。

一方、昨年度事業で日本大学藤沢キャンパスに設置した屋外暴露試験体Aは、暴露開始から3カ月、9カ月、15カ月後に質量減少率や色調などの経年的な測定が行われ、今年度事業においては、難燃薬剤処理と防腐・防蟻処理を組み合わせた試験体B、試験体Cについては、屋外暴露開始前の質量、色調などの初期値を測定し、2022年1月に新たに暴露が開始された。

第2回委員会もWEB会議で2022年1月25日に開催し、事業内容の実施状況および、各試験の結果を示した事業報告書（案）が説明され了解された。最終版の作成に向けて不足する資料等の提供が要請された。

2022年2月21日に事業を完了し、実績報告書は木構造振興(株)に提出した。

3.1.2 実施結果のまとめ

試験には3種類の試験体が用いられた。試験体Aの仕様は、難燃薬剤はリン酸アミノ系、防腐・防蟻剤は用いず、塗料は含浸型アルキド系であった。試験体Bの仕様は、難燃薬剤

はリン・窒素系，防腐・防蟻剤はアゾール・第四級アンモニウム・ネオニコチノイド化合物系，塗料は造膜型ウレタン系であった。試験体 C の仕様は，難燃薬剤はホウ酸・リン酸アンモニウム系，防腐・防蟻剤はアゾール・ネオニコチノイド化合物系，塗料は造膜型ウレタン系であった。

促進劣化試験による試験体の質量減少率は，試験体 A では 0%～5%の範囲で平均値は 2%，試験体 B では質量が増加したものと減少したものが概ね半々であり平均値は 0%，試験体 C では，全ての試験体で 1%～19%の範囲で質量が増加し平均値は 7%（増加率）であった。試験体の質量変化の傾向が試験体間で大きく異なった要因は，塗装型（含浸型，造膜型など）の相違であろうと考察されたが，本促進劣化試験法では塗装などを施した試験体の評価は基本的には行わないことから，本考察は参考に留めるべきとした。難燃処理木材に施した塗装が難燃薬剤の溶脱性に与える影響に関しては既往の研究結果を参考にしつつ，より実大に近い試験体での溶脱性の知見を蓄積することが必要である。

SBI 試験と着火性試験の結果に基づき，欧州建築材料のクラス分けによる火災反応性能（reaction to fire performance）の分類を行った結果，A 試験体と C 試験体がクラス B と判定され，試験体 B がクラス D と判定された。3 種類の試験体は共に概ね同レベルの難燃薬剤処理を行ったことから，試験体 B がクラス D となった要因は，試験体の塗装材料の燃焼が大きく影響したものと考えられた。クラス B は実大区画火災試験の 300kW 加熱でもフラッシュオーバーは起こらないと分類され，クラス D は実大区画火災試験の 100kW 加熱 2 分後にフラッシュオーバーが起こると分類されるものである。欧州建築材料のクラス分けにおいて，促進劣化処理を行った難燃薬剤処理木材が，不燃に準ずるクラス B と評価できたことは大きな意義があり，難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大に道を開いたものと言える。次年度以降の事業では，本事業では未実施である実大区画火災試験を行い，更に実証試験を推進する必要がある。塗装の影響については，今後の課題とする。

屋外利用を目的として難燃薬剤処理木材に防腐・防蟻処理を組み合わせた木材についての情報は極めて少ないことから，難燃処理と防腐・防蟻処理を組み合わせた試験体について，促進劣化試験後の試験体の防腐・防蟻性能は JIS K 1571：2010 に準拠して評価した。

屋外暴露（東西南北面）による難燃薬剤処理木材の質量減少率（薬剤溶脱量と見做した）の平均値は，暴露 3 ヶ月後では塗装有り 2.3%，塗装無し 2.9%，暴露 9 ヶ月後では 3.1%，塗装無し 3.8%，，15 ヶ月後では塗装有り 4.1%，塗装無し 5.1%であった。質量減少率は暴露期間と共に増加する傾向を示した。塗装処理をした方が質量減少率は少ないがその差は 1%程度であった。今後の長期的な測定の継続が重要である。

3.2 今後の展開

3.2.1 試験体面積の適正化

上記の燃焼試験や促進劣化試験で必要とされる試験体の面積は，燃え広がり試験では 7.45 m²，SBI 試験では 2.2 m²，コーンカロリメーター試験では 0.01 m²，促進劣化試験では 4 m²/回程で大きく異なる。一般に流通している様々な製品について普遍的なデータを得

るためには、数多くの樹種を用いた試験を行う必要がある。そのためには、出来る限り少ない材料でこれらの試験を実施して、難燃性能を把握することが本事業の推進上は不可欠である。また、これまで実施した試験方法と今後実施する試験方法においても相関性を把握しておく必要があり、最小限の材料による適切な試験を行い信頼されるデータを得たいと考えている。

3.2.2 屋外暴露と室内促進劣化試験での難燃等薬剤の溶脱の把握

これまでの事業で、促進劣化試験と屋外暴露の相関性は3年程度であった。今後、外構材としての需要を拡大していくためには、より長期の屋外暴露（例えば5年以上）を実施して、難燃等の性能を確認していく必要があり、そのためには、早期に5年間の屋外暴露試験を行う必要がある。更に、各種の室内促進劣化試験方法を探索して、薬剤溶脱率を把握する必要がある。

3.2.3 各試験相互間の相関性の把握

各種の室内促進劣化試験方法（促進劣化試験やキセノンランプ式耐候性試験など）を行った試験体は、燃え広がり試験、火災成長速度試験、コーンカロリメーター試験、熱分析法など種々の試験方法によって難燃性能が評価できる。これらの組み合わせによる外構用途の難燃薬剤処理木材の適切な評価方法を、明確にしていく必要がある。

3.2.4 燃焼試験と塗料の燃焼影響の把握

今年度のSBI試験により鉛直方向への火災伝播が評価されたことから、水平方向への火災伝播を評価する必要があり、この試験結果の解析を補完するため、低発熱コーンカロリメーター試験と熱重量分析（TGA）を行う。

また、SBI試験では、塗料の一部で結果に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。塗料については、燃焼に影響を与えない塗料を選抜する。

3.2.5 防腐・防蟻試験

難燃薬剤には、防腐・防蟻効力を若干発揮することがあるのでJIS K 1571：2010による防腐・防蟻試験をそのまま適用し難いため、今年度の結果を踏まえ、試験方法を更に検討する必要がある。

本事業の成果を今後の調査・研究に繋げてより多くの知見を得て、それらの成果を公表していくことが、難燃薬剤等処理木材の外構材としての今後の需要拡大に繋がるものと考えられる。

執筆者一覧

はじめに	京都大学名誉教授 今村祐嗣
第1章 事業の概要	(公社) 日本木材保存協会事務局
第2章 試験方法と結果	
2.1 試験体の作製	越井木材工業(株) (株)ダイエンス 兼松サステック(株)
2.2 促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019)	(公社) 日本木材保存協会事務局
2.3 着火性試験 (ISO 11925-2)	(株)東京システムバック 早川哲哉
2.4 SBI 試験 (EN13823)	(国研) 建築研究所 吉岡英樹 (株)東京システムバック 早川哲哉
2.5 防腐・防蟻性能試験 (JIS K 1571 : 2010)	京都大学名誉教授 今村祐嗣
2.6 屋外暴露試験 (木材表面の経年変化 (劣化))	日本大学 木口 実
第3章 成果のまとめと今後の展開	(公社) 日本木材保存協会事務局

令和2年度林野庁委託事業

令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうち
CLT建築実証支援事業のうち
CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

難燃処理木材の屋外での需要拡大を図るための防腐・防蟻・塗装等による
屋外耐久性向上技術の開発および、難燃等の性能評価事業報告書

2022年（令和4年）2月

公益社団法人 日本木材保存協会