

令和4年度 木材製品の消費拡大対策のうち
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

難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための
屋外耐久性向上技術の開発及び難燃性能の統合的評価
事業報告書

2023年（令和5年）2月

公益社団法人 日本木材保存協会

はじめに

公益社団法人日本木材保存協会は、これまで令和元年度及び令和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、“難燃薬剤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”及び“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及び難燃等の性能評価”を受託し実施して参りました。

一方、近年、持続的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材料、とりわけ国産材の利用促進が積極的に推進されておりますが、今後、需要をより一層拡大していく為には、非住宅建築物及び外構材へ利用を拡大していく必要があります。その為には、木材に難燃薬剤を処理して、防火性を付与することが必須であり、難燃木材の利用は室内に限られているが、屋外での利用では、難燃性能を正確に把握する必要があります。

本事業では屋外で暴露した難燃薬剤処理木材の経年的な難燃性能の変化を評価し、外構材への利用推進を図ることを目的としていますが、屋外で現しで使用した場合、水溶性である難燃薬剤は、木材自体の水分が環境により変化する為、徐々に消失しますが、この難燃性能が何年間継続されるのかを把握する必要があります。令和元年度の事業で、難燃薬剤処理木材を3年間屋外暴露した材料と実験室で促進劣化（JIS A 1326：2019）を行なった材料について、燃えひろがり試験（JIS A 1310：2015）により難燃性能を評価し、その性能は屋外において少なくとも3年間は持続することを確認しました。

また、令和2年度の事業では、防腐・防蟻性能を付加した難燃薬剤処理木材に促進劣化を行ない、SBI試験（EN13823）と着火性試験（ISO11925-2）の組み合わせにより難燃性能を評価し、促進劣化した材料は、EN13501-1分類で不燃に準ずるクラスBと評価され、促進劣化を受けても難燃性能は維持されることを把握しました。更に、促進劣化後に防腐・防蟻性能試験（JIS K 1571：2010）を行ない、性能低下がないことも確認しました。

今年の事業では、「難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための屋外耐久性向上技術の開発及び難燃性能の統合的評価」と題し、難燃薬剤処理木材に促進劣化を施し、火炎伝播試験（ISO 5658-2:2006）、標準コーンカロリメーター試験（ISO 5660-1：2015 準拠）、ラージコーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4:2016・ASTME2965 準拠）を実施し、屋外で用いる難燃薬剤処理木材の新たな燃焼試験が探索できたものと確信しています。

本事業実施に当たってご協力を賜りました委員各位をはじめ木構造振興(株)に厚く御礼申し上げます。本成果を発展させ、難燃薬剤処理木材の現しでの性能を明確にして、屋外利用を促進し、中大規模木造建築物などへの需要拡大に寄与したいと考えています。

令和5年2月28日

事業委員長 京都大学名誉教授 今村祐嗣

目次

はじめに	
第1章 事業の概要	1
1.1 事業の背景事業の背景と事業の進め方	1
1.2 事業の目的	2
1.3 事業の実施体制	2
1.4 事業の実施スケジュール（事業開始当初の計画）	4
1.5 スケジュールに沿った事業の概要	7
1.6 事業の経過	8
第2章 試験の方法と結果	10
2.1 難燃処理試験体の試験材と各種試験体の製作	10
2.1.1 試験材の製作	10
2.1.2 標準コーンカロリメーター試験，ラージコーンカロリメーター試験，火炎伝播試験のための試験体の製作	11
2.2 促進劣化試験（JIS A 1326：2019）	12
2.2.1 試験材の設置	14
2.2.2 促進劣化試験（JIS A 1326：2019）の実施	15
2.2.3 促進劣化試験（JIS A 1326：2019）による試験材の質量変化	16
2.3 標準コーンカロリメーター試験（ISO5660-1 準拠）とラージコーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠）	21
2.3.1 試験体の製作と養生	23
2.3.2 標準コーンカロリメーター試験の結果	24
2.3.3 ラージコーンカロリメーター（ISO/TS 5770-4：2016）試験の結果	31
2.3.4 ラージコーン試験の結果	31
2.5. 火炎伝播試験（ISO 5658-2）	37
2.5.1 試験体の製作	39
2.5.2 火炎伝播試験の結果	39
2.6. 難燃処理試験体の屋外暴露試験（木材表面劣化の経年的変化）	46
2.6.1 難燃処理した木質外構部材の屋外環境下での外装用処理薬剤の性能確認	46
2.6.2 屋外暴露架台での木材表面変色・白華の経時的試験	47
2.6.3 暴露試験	47
2.6.4 暴露結果と考察	49
第3章 成果のまとめと今後の展開	64
3.1 実施内容のまとめ	64
3.2 実施結果のまとめ	64
3.3 今後の展開	68

第1章 事業の概要

1.1 事業の背景と事業の進め方

「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（2021年10月）」となり、木材利用促進の対象を公共建築物から建築物一般に拡大し¹⁾、この流れは急速に進展している。「森林・林業基本計画（2021年6月）」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。この中では、5つの柱の施策が示され、都市等における「第2の森林」づくりとして、中高層建築物や非住宅分野等での新たな木材需要の獲得を目指している²⁾。さらに世界的な視点では、気候変動や自然災害等の問題が世界中で深刻化し、SDGs（持続可能な開発目標）に大きな関心が寄せられ、身近な自然である森林資源を有効利用する行為が様々なSDGsに貢献することが示されている³⁾。

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、燃えひろ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。加えて、難燃薬剤処理木材はこれまで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の持続性に関する試験データは皆無に近い。

そのため、本事業では難燃薬剤処理木材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、記号、番号を割愛して記載する）を行ない、それら試験体について燃えひろがり試験（JIS A 1310：2019）（以下、記号、番号を割愛して記載する）を行うことを基本として、種々の試験を行っている。種々の試験として、これ迄に火災成長速度試験（EN13823）、（以下、記号、番号を割愛して記載する）着火性試験（ISO 11925-2）（以下、記号、番号を割愛して記載する）を行ない、今年度は火災伝播試験（ISO 5658-2）（以下、記号、番号を割愛して記載する）、標準コーンカロリメーター試験（ISO5660-1 準拠）（以下、標準コーン試験と記載する）、ラージコーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠）（以下、ラージコーン試験と記載する）を行い、屋外での経年的な難燃性能の変化に関する定量的データを蓄積してきた。

1.2 事業の目的

「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（2021年10月）」¹⁾、「森林・林業基本計画（2021年6月）」²⁾、SDGs³⁾等、様々な観点から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、難燃処理に加えて防腐・防蟻、塗装処理を行うことが必要であり、このため、本事業では難燃、防腐・防蟻、塗装の各処理を組み合わせた処理木材について、屋外における難燃性能及び防腐・防蟻性能の経年的変化を様々な試験データにより明らかにして、建築物の外壁での利用拡大に資することを目的とした（図1）。

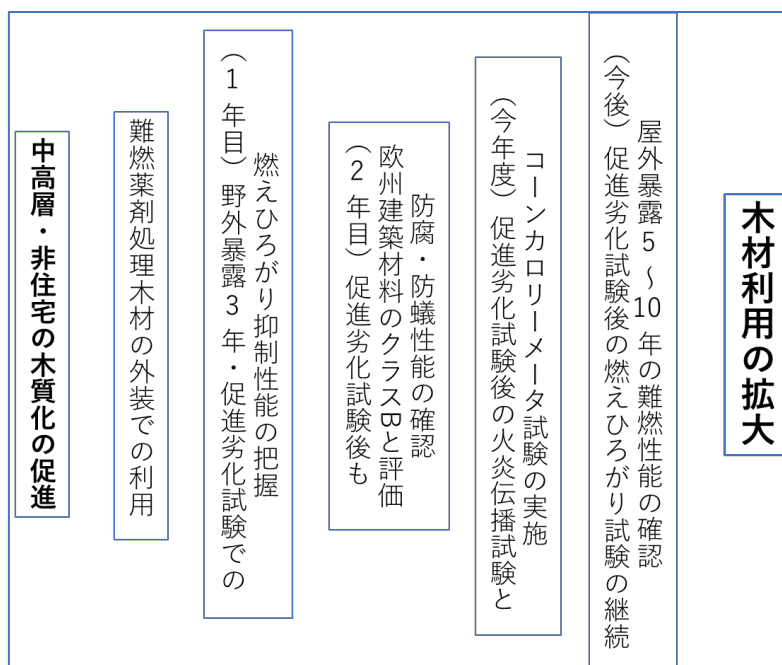


図1 本事業の目的と今後の工程

1.3 事業の実施体制

公益社団法人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。また、同協会内に部会を組織し（表2）、本事業で実施する試験や結果について検討し委員会に報告した。

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 公益社団法人日本木材保存協会 参事
委員	鮫島正浩	東京大学 名誉教授、

		公益社団法人日本木材保存協会 会長
	野口貴文	東京大学
	吉岡英樹	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
	趙玄素	国立研究開発法人 建築研究所
	西尾悠平	国立研究開発法人 建築研究所
	上川大輔	国立研究開発法人 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	公益社団法人日本木材保存協会
オブザーバー	高木望	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室

表2 難燃部会委員の構成

	氏名	所属
部会長	上川大輔	国立研究開発法人 森林総合研究所
委員	杉山和正	(株)プラセラム
	山口秋生	越井木材工業(株)
	道田涼	(株)オーシカ
	高瀬棕	国立研究開発法人 森林総合研究所
	大宮喜文	東京理科大学
	福田康孝	一般財団法人 ベターリビング
事務局	鈴木昭、山本幸一、 小林理恵	

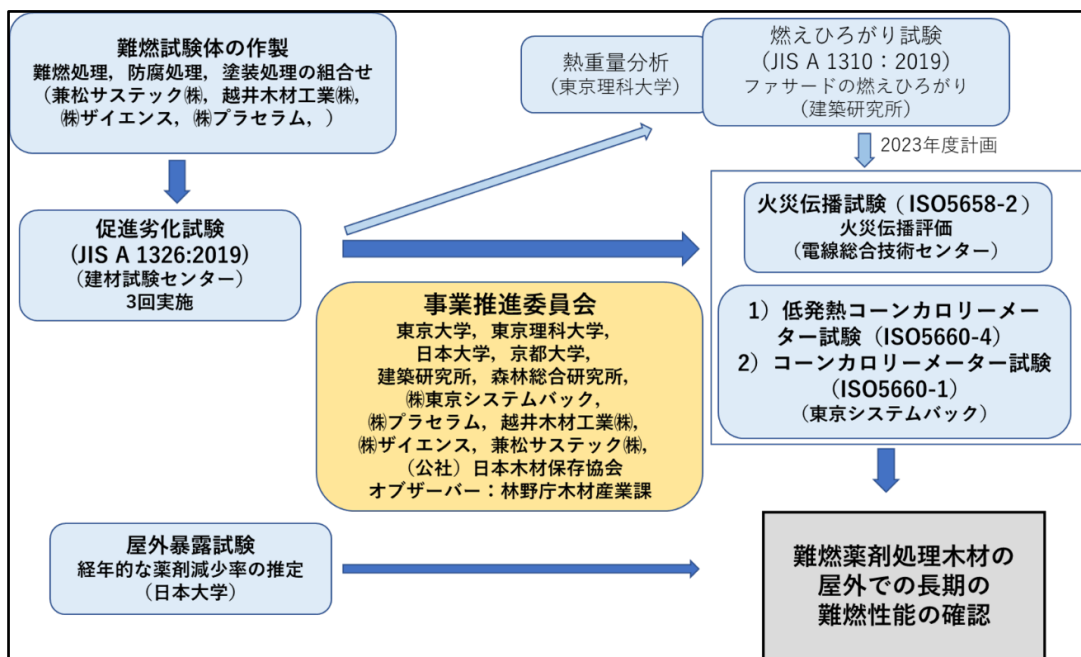


図2 事業における各種試験の実行と関連性

1.4 事業の実施スケジュール（事業開始当初の計画）

2021年 5月12日 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時的な測定の実施（日本大学）

7～8月 難燃薬剤処理木材の製作

（越井木材工業(株)、(株)ザイエンス、兼松サステック(株)、(株)プラセラム）

9月～2023年2月 促進劣化試験の実施（建材試験センター）

2023年1月 火災伝播試験の実施、（電線総合技術センター）

1月 標準コーン試験、

ラージコーン試験の実施（東京システムバック）

2022年 2月7日 第2回オンライン委員会開催

3月13日～31日 成果報告会のWEBでの実施

3月 成果報告書の完成・印刷（日本木材保存協会）

第1回委員会の議事概要

（*事業申請の名称は「難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための屋外耐久性向上技術の開発及び難燃性能の統合的評価」ですが難燃事業委員会と略称する）

1. 開催日時：2022年5月12日 15:00～16:15

2. 開催方法：オンライン会議

3. 出席者：今村委員長、吉岡委員、西尾委員（建築研究所として新規）、上川委員、杉山委員、早川委員、内藤委員、須貝委員、茂山委員、五十嵐委員、事務局：鈴木、山本

4. 議事：

1) 試験内容

パワポイントのレジюмеに従い事務局案が説明された。今年度の4種類の試験体について、以下の試験を行うと事務局より説明された。促進劣化試験を行ったものと促進劣化を行わないものを試験体とし、①火炎伝播試験、②ラージコーン試験、③熱分析試験（TGA）（以下、記号を割愛して記載する）を行う。

【意見1】吉岡委員より、本事業は燃えひろがり試験によりデータを集積していく必要があると考えるので、燃え広がり試験を実施すべきと考える。

【事務局1】燃えひろがり試験方法は、1回の試験で試験材料を7.6㎡ほど使用する為、促進劣化試験を2回（4㎡/回）行う必要があり多くの試験材料が必要となる。補助事業で実施する場合は、費用的に1つの難燃薬剤処理条件しか出来ない。従って今後は、少ない試験材料で実施できる試験方法を考えていかなければならない。

【意見2】吉岡委員より、燃えひろがり試験装置は現在も改修中であり、最短の完了日は2022年12月であるが、2023年2月に延びる可能性がある。実施できないリスクを考え、1)試験内容の①②③の試験も行っていた方が良いと提案された。

【事務局2】以上の意見を踏まえ、1)試験内容の①②③及び燃えひろがり試験で1つの試験体を試験する。従って、促進劣化試験は都合3回実施（12㎡で、2回分は、燃えひろがり試験用、1回分は①②③試験用）する。

【委員長】試験体は、今回参加頂いている木材処理会社4社で打合せてして提供ほしい。

2) 試験材料の仕様及び、提供

5月13日に木材処理会社4社に事務局を加えて、オンラインで打合せ会を開催し以下を決定した。

- ① ①②③のための試験材料は各社で用意（但し、プラセラム社分はザイエンス社が用意）する。なお、幅は155mmで、さね加工は行わない。
- ② JIS A 1310 試験材料は兼松サステック社で用意する。
- ③ 屋外劣化5年の試験は2社より申し出があったが、事業費が400万円程増加して、1300万円程になることから中止することとされた。
- ④ 火炎伝播試験の試験体の樹種・寸法は、スギ上小節材で155mm幅・18mm厚・1000mm長で製作しその内800mmを使用する。また、実際の外壁施工を考慮して縦貼りと横貼りを各3回試験する。
- ⑤ ラージコーン試験用、熱分析試験用は、④で使用した残り部分から採材する。
- ⑥ ①、②の為の試験体の採材は、(株)ソーケンに依頼し、③木粉化は未定。
- ⑦ 試験体は、当初、難燃薬剤処理+塗装としていたが、各社の都合で防腐・防蟻剤等を注入しても良いこととされた。

3) 試験実施機関

①火炎伝播試験)は、(一社)電線総合技術センターにて、②ラージコーン試験は(株)東京シ

ステムバックにて、③熱分析試験は東京理科大学にて、促進劣化試験)は建材試験センターにて、燃えひろがり試験は、建研にて実施することとし、その確認と見積もりを依頼した。

以上

第2回委員会の議事概要

日時：2023年2月7日13:00~14:00

開催方法：オンライン会議

出席者(敬称略)：今村、鮫島、野口、吉岡、上川、早川、杉山、内藤、茂山、須貝、手塚、五十嵐、事務局：鈴木、山本、オブザーバー：高木課長補佐(林野庁木材産業課)は急遽欠

議題：

先ず、促進劣化試験、火炎伝播試験、ラージコーン試験、標準コーン試験の結果が事務局から資料で説明され、その後、質疑応答に入った。

質疑応答

1) 報告書記載の注意点

- ・ISO、ENなど規格番号は正確を期す。
- ・両コーン試験では、先ず20分の結果について説明を行い、補足データとして30分の結果を示す。30分を実施した理由は、海外のファザード評価では30分試験もあることから、参考のためである。
- ・両コーン試験ともに、20分以降では特に発熱は見られないが、20分以降ではメーカーにより20kW/m²の燻り発熱がある。燻りに関しては、今後の課題とする。
- ・試験結果の変動は、試験体の吸収量の相違だけではなく、採材位置(木口面からの距離)も要因と考えられるため、その考察を行う。(各社の説明では、試験材供与においては吸収量変動を出来るだけ小さくしたとのことである)
- ・標準コーン試験では、イレギュラーな発熱があるものは端切断の試験体の可能性があるの
で上記の検証が必要。
- ・最大発熱速度は、偶然性が関与し数値が大きく変動することに留意する。
- ・標準コーン試験では、試験体のサイズが小さいこともバラツキの原因。
- ・報告書の理解を易くするため、コーン試験の基準値を参考として挙げる。
- ・ラージコーン試験は、材料表面の性能をより正しく評価できることを明記する。
- ・ラージコーン試験の名称は、内容を現す低発熱のタームを冠して示す。
- ・標準コーン試験とラージコーン試験は概ね同じ傾向である。
- ・火炎伝播試験のBの結果、CFEは詳細を検討する必要がある。
- ・薬剤の溶脱については、薬剤成分の挙動について知ることが重要。
- ・「性能の維持」の表現は誤解が生ずる。

2) 次年度の計画

- ・燃えひろがり試験は、国際的にも重要であり、代替試験も無いことから次年度は必ず行う。
- ・本燃焼試験の目標は、ファザード評価(実際の屋外での劣化に伴ない実大規模でどの程度

- 火災に耐えるか)を実際の製品仕様で試験することであり、それを再確認し計画を練る。
- ・次年度は4年目であり、出口を明確にする戦略が必要である。
 - ・促進劣化試験を経た試験材で燃えひろがり試験を行うことが望ましいが(同じ吸収量であっても薬剤分布が異なるため)、促進劣化試験が予算的に出来ない場合であれば、溶脱量を考慮した吸収量の試験材(吸収量を減らす)で行なうことも有り得る。
 - ・紫外線劣化はそれほど重要なテーマではないことから、余裕があれば行う。

3) 今後のスケジュール

- 2月7日 午前難燃部会、午後2回目委員会
- 2月20日 支払い終了
- 2月24日 WEB用パワポ締め切り
- 2月28日 WEB用の成果発表収録 吉岡委員
- 3月13日 WEB配信開始
- 3月31日 成果報告書の製品冊子(2部)を木構振に提出
- 3月中下旬 2023年度の事業募集開始【未定】
- 4月上旬 2023年度の事業への応募【未定】

1.5 スケジュールに沿った事業の概要

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)サイエンス、兼松サステック(株)、(株)プラセラムにおいて、難燃薬剤処理木材の試験体を製作した。(株)サイエンス、兼松サステック(株)は難燃薬剤処理に防腐・防蟻処理を付加した。試験体は、半数は促進劣化試験に供し「促進劣化有り」の試験体とし、半数は促進劣化試験を行わず「促進劣化無し」の試験体とした。
3. 促進劣化試験：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た材料を「促進劣化有り」の試験体とし、「促進劣化無し」の試験体も同時に建材試験センターに送付して保管した。
4. 試験体の製作：(株)ソーケンにおいて、「促進劣化無しと有り」の試験体を採材し、試験実施機関に送付した。
5. 火炎伝播試験：「促進劣化無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について、電線総合技術センターで行なった。
6. 標準コーン試験及びラージコーン試験：「促進劣化無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について(株)東京システムバックで行なった。
7. 屋外暴露試験：日本大学において、昨年度及び一昨年度の事業で設置した暴露試験体の計測を行った。
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なった。
9. 成果報告会：WEB開催の為の発表収録が行われ、2023年3月13日よりWEB配信された。

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4年4月14日に木構造振興(株)へ事業請負書を提出して事業を開始した。請負期間は、令和4年4月14日より令和5年2月20日迄である。以下に、委員会等の事業の経過について記載する。

1. 第1回委員会

5月12日、オンライン会議を開催し、事業目的の確認及び、試験の実施内容と実施機関、試験の時期等を決定した。

2. 企業との打ち合わせ

5月13日にオンライン会議を開催し、各社が製作する試験体についての仕様や納品時期などについて打ち合わせを行った。

3. 促進劣化試験

(一財)建材試験センター中央試験所にて、4種類の試験材 A 試験材 B 試験材 C 試験材 D それぞれの質量を測定した後、試験体を試験体固定用の枠に張り付けて試験を実施し、試験終了後の養生を行い、質量を測定した。第1回目(試験材 A、B、C、D)は11月～12月に、第2目・3回目(試験材 C、促進劣化による薬剤溶脱量の推定のため)は2022年12月～2023年2月に行った。促進劣化試験1セット(180サイクル)の試験期間は1回目、2回目、3回目とも27日間であった。試験に当たっては、(株)ソーケン(草加市)にて促進劣化試験体固定用の枠を製作し、試験体の取り付け作業が行われた。

4・(株)ソーケンにて、4、5に供する試験体を12月に製作した。

5. 火炎伝播試験

試験は、「促進劣化無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について、電線総合技術センターで2023年1月に行なった。

6. 標準コーン試験及びラージコーン試験

試験は、「促進劣化無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について2023年1月に(株)東京システムバックで行なった。

7. 屋外暴露試験

日本大学において、昨年度及び一昨年度事業で設置した試験体については2022年7月と2023年1月に経時的な測定を実施した。

8. 日本木材保存協会の難燃性部会

2023年2月7日にオンライン会議を開催し、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回本事業委員会

2023年2月7日にオンライン会議を開催し、事務局から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）が説明された。委員からは、事業報告書の最終版の作成に向けて、記載のポイント、考察すべき点、未記載のデータなどが指摘された。それらを踏まえ事業報告書を完成させることとした。

10. WEB 報告会

C L T等木質建築部材技術開発・普及事業の報告会が2023年3月13日より31日までWEBで配信された。本事業は全37課題の中の一つであり、吉岡英樹委員がWEB収録での発表を担当した。なお、成果概要集のための要旨を1月末までに提出し、3月上旬に発行された。

11. 事業報告書

2023年3月に木構造振興(株)に提出し、日本木材保存協会のホームページにてPDFで公開する。

第2章 試験の方法と結果

2.1 試験材と各種試験体の製作

2.1.1 難燃試験体の試験材の製作

試験材とは、「2.3 標準コーン試験」、「2.4 ラージコーン試験」、「2.5 火炎伝播試験」を実施する木材をいい、各試験のために採材された木材を“試験体”と称することとした。すなわち、難燃薬剤処理木材の性能評価のため各社においてスギ試験材（幅 155mm×長さ 1000mm×厚さ 18mm）を製作し、「2.2 促進劣化試験（JIS A 1326：2019）」に供して強制的な劣化操作を行った後に、「2.1.2 試験体の製作」の手順で各種の試験体を採材した。

難燃薬剤試験材は、各社（それぞれ試験材 A、試験材 B、試験材 C、試験材 D を担当）毎に、難燃薬剤を加圧注入して製作したものである。加圧注入時の試験材は、各社で若干異なるが仕上がりに余裕を持った寸法とし、注入処理・乾燥後に試験材 A では 155 mm（幅）×18 mm（厚さ）×1,000 mm（長さ）、試験材 B では 155 mm（幅）×18 mm（厚さ）×1,200 mm（長さ）、試験材 C では 155mm（幅）×18mm（厚さ）×1000mm（長さ）、試験材 D では 155mm（幅）×20mm（薬剤注入により膨潤して厚さが増したが厚みの調整はしなかった）×1000mm（長さ）に仕上げた。なお、試験材 B と試験材 C においては、難燃薬剤処理に先立ち、防腐・防蟻処理を行った。難燃薬剤処理後は一定期間の養生を行ない、A、B、C、試験材 D 共に塗装を行なった。その後、促進劣化試験に供するため、試験材は 9 月上旬に建材試験センターに送付された。建材試験センターでは、11 月上旬の促進劣化試験開始前まで試験材の重量を経時的に測定した。

難燃処理薬剤及び塗装処理についての仕様を表 3 に示す。処理薬剤等の仕様は試験材 A 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。促進劣化有りの試験材の難燃薬剤吸収量の平均値は 125kg/m³（偏差 4 kg/m³）であり、促進劣化無しの難燃薬剤吸収量の平均値は 123kg/m³（3 kg/m³）であった。

試験材 B では、難燃薬剤はリン・窒素系、防腐・防蟻剤は用いず、塗料は造膜形フッ素系であった。防腐・防蟻剤の吸収量は 9.0kg/m³であり、促進劣化有りの試験材の難燃薬剤吸収量の平均値は 131kg/m³（4 kg/m³）であり、促進劣化無しの難燃薬剤吸収量の平均値は 130kg/m³（3 kg/m³）であった。

試験材 C 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り、防腐・防蟻剤の吸収量は 0.32 kg/m³であり、促進劣化有りの試験材の難燃薬剤吸収量の平均値は 182kg/m³（4 kg/m³）であり、促進劣化無しの難燃薬剤吸収量の平均値は 181kg/m³（4 kg/m³）であった。

試験材 D では、難燃薬剤はリン・窒素系、塗料は造膜形ウレタン系であり、促進劣化有りの試験材の難燃薬剤吸収量の平均値は 473kg/m³（16kg/m³）であり、促進劣化無しの難燃薬剤吸収量の平均値は 472kg/m³（17 kg/m³）であった。

なお、塗料の平均塗布量は試験材 A では、80g/m²、試験材 B では 260g/m²、試験材 C では 210g/m²、試験材 D では 220g/m²であり、塗装面は試験材 A では表面と両端（木口面）の 3 か所、試験材 B、C、D では 6 面全てであった。

表 3 各試験材の仕様

試験材	難燃薬剤名	保存処理薬剤名	塗装処理	塗装面と塗布量 (g/m ²)	難燃剤吸収量(kg/m ³)
A	リン酸アミノ系	なし	含浸形アルキド系	3面・80	124
B	リン・窒素系	なし	造膜形フッ素系	6面・240	130
C	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	アゾール・ネオニコチノイド化合物系	造膜形ウレタン系	6面・210	182
D	リン・窒素系	なし	造膜形ウレタン系	6面・220	473

2.1.2 標準コーン試験、ラージコーン試験、火炎伝播試験のための試験体の製作

以下の 2.2 促進劣化試験を行った試験材及び促進劣化試験を行わない試験材のそれぞれから、2.3 標準コーン試験、2.4 ラージコーン試験（、2.5 火炎伝播試験のための試験体を製作した（図 3）。

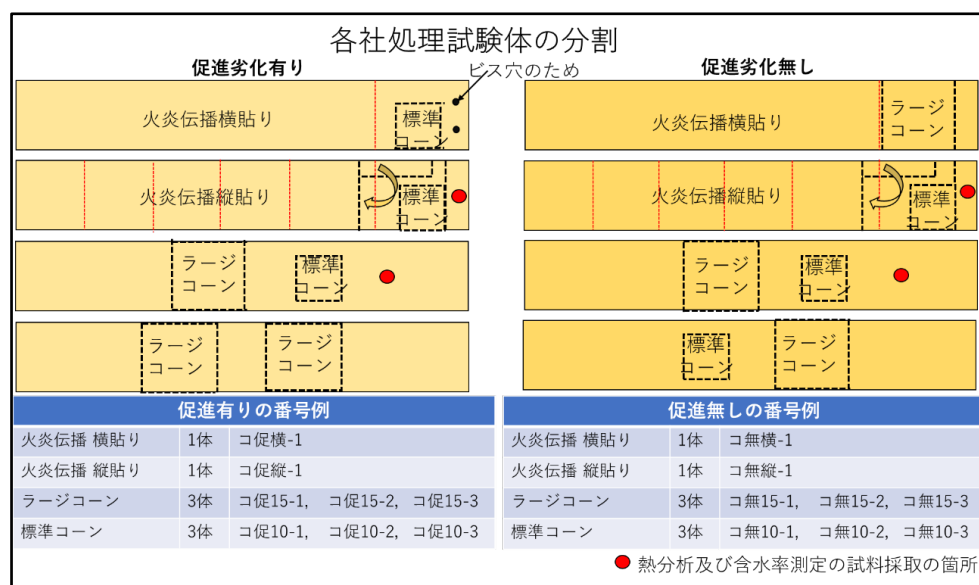


図 3 標準コーン試験及び火炎伝播試験のための試験体製作

燃えひろがり試験方法⁴⁾においては、試験体の養生として「a)養生期間中の周囲温度は常温とし、製造業者の定める養生期間を経て試験に供する。b)養生期間中は、水分にさらされ

ない状態とする。c)養生条件は、試験報告書に記載する。」とあるが試験体の含水率のついては規定されていない。

含水率用の試験片は、試験材の端部から1カ所、或いは端部及び端部から200mmの2カ所から採材し、全乾法にて含水率を測定した(表4)。なお、試験材Aの端部と端部から200mm部位での含水率試験片を3試験材から採材して比較したが、8.3%と8.7%、7.8%と7.9%、7.7%と7.0%と差異は認められなかった。試験材数の制限から、試験材中央部からは含水率試験片が採取できなかったため、試験材内での含水率分布の変動は明らかには出来なかった。一つの試験材から様々な試験の試験体を採取する場合には、試験材内の含水率分布を知ることが望ましいが、次回以降の試験に譲りたい。

表4 各試験材の試験供与前の含水率

試験材	含水率試験片の数	含水率 (%) * (カッコ内は偏差)
A 促進劣化有り	7	7.9 (0.4)
促進劣化無し	4	8.2 (0.6)
B 促進劣化有り	4	7.6 (0.8)
促進劣化無し	4	7.6 (0.4)
C 促進劣化有り	4	10.4 (0.5)
促進劣化無し	4	11.6 (0.5)
D 促進劣化有り	4	7.8 (1.7)
促進劣化無し	4	15.5 (3.4)
薬剤無し・促進劣化無し	5	11.3 (0.8)

* 含水率は、105°Cで2日間、全乾法により測定した。

試験材Dの促進劣化試験無し試験材の含水率が15.5%と高い理由としては、水分が抜け難い或いは薬剤中に含まれる水分の影響が考えられる。一方、試験材Dの促進劣化試験有り試験材の含水率が7.8%であり試験体A、B、Cに近い値である理由としては、20°Cで2週間～3週間の養生期間では促進劣化操作の散水中に吸水された水分が試験材から抜けきらないことが昨年の試験で判明したため、今年度の試験では60°C・5日間の乾燥期間(規定では20°C)を挿入したためと思われる。そのため、これらの値は冬季の木材平衡含水率13～14%⁵⁾よりも若干低い値となった。

2.2 促進劣化試験⁶⁾

屋外での実際の暴露を想定して促進劣化試験方法⁶⁾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難燃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及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(図4)

(表5)。令和元年及び令和2年度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回で試験行ったことから、今回の令和4年度事業でも同じサイクル数とした。なお、規格で規定しているサイクル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既に報告⁷⁾されており、令和元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⁸⁾。

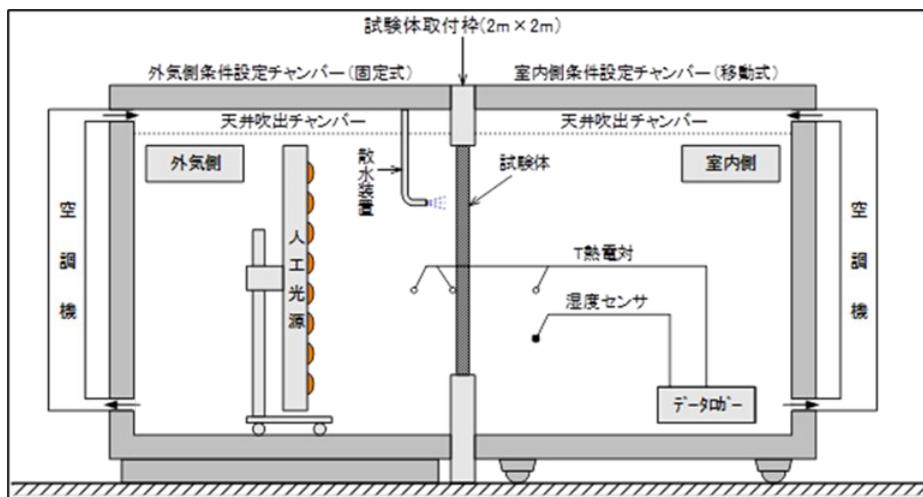


図4 促進劣化試験装置の概要

表5 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 ± 3°C ^{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 ± 5°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 ± 3°Cを超える試験体がある。

促進劣化試験の解説では、建築に用いられる塗料や塗材などにおいては、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抑制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材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って耐久性を確保するため、塗装を施すことが普通であること、塗装による溶脱がかなり抑えられるとの報告があること⁹⁻¹¹⁾を考慮したためである。

2.2.1 試験材の設置

試験材は、各社共に幅 155mm×長さ 1000mm、厚さ 18mm を標準として、それぞれ 6枚を寸法 2000mm×2000mm の試験片固定用木枠に縦張で施工し（図 5）、試験期間中の空気温度（室内側と外気側）と試験材表面温度を測定した（写真 1）。突合せ面を除く試験片の小口面はアルミテープでシールした。各社試験材間は 10mm 幅のスギ幅木で仕切った

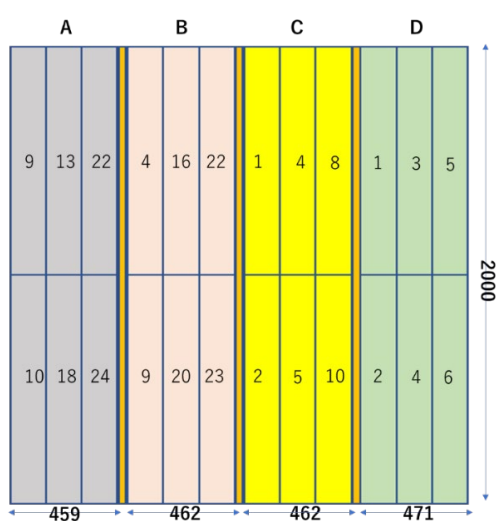


図 5 促進劣化試験での試験材の配置



写真 1 促進劣化試験の状況と温度測定位置 乾燥過程を外気側より撮影

2.2.2 促進劣化試験の実施

4種の試験材の外気側表面温度、外気温度及び室内温度を連続して測定した結果例として、1～3サイクル、89～91サイクル、178～180サイクル時のグラフを示す(図6-8)。試験材の外気側表面温度は、開始直後の1～3サイクルでは、試験材Aで高く(ピークで84～90℃)、試験材Dで低く(ピークで71～72℃)なり、試験材BとCが中間値であった(図6)。サイクルの経過により89～91サイクルでは、試験材間の差異(ほぼ80℃)は少なくなり(図7)、終了時の178～180サイクルでは、開始時の逆の傾向(試験材CとDは83～84℃と高く、試験材Aは74℃試験材Bは80℃弱)となった(図8)。

促進劣化の経過に伴い、色調、密度、水分量などが試験材毎に変化し、それぞれで異なったことが試験材の外気側表面温度に影響したものと推察された。試験材毎の外気側表面温度の変動は、促進劣化試験時における劣化程度に大きな影響を及ぼすことは無かったと考えた。

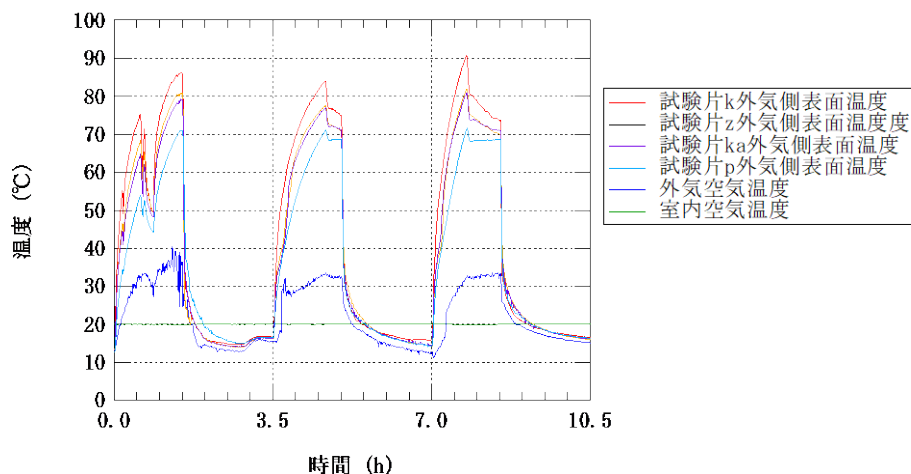


図6 試験片外気側表面温度、室内外空気温度測定結果(1～3サイクル)

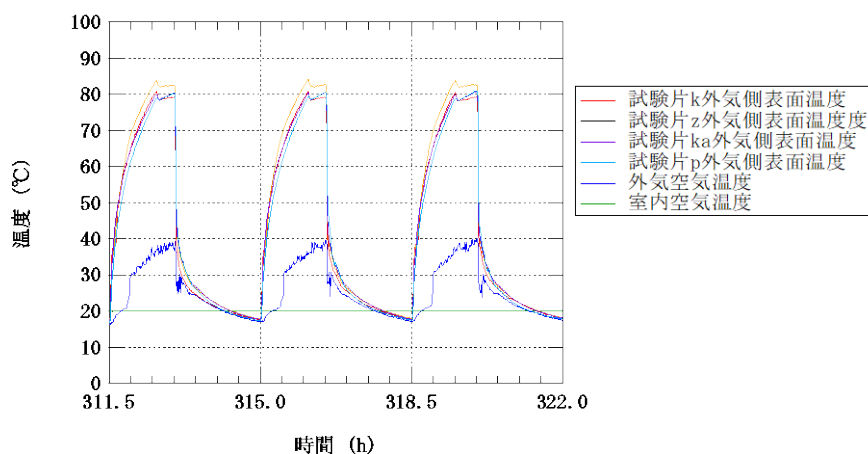


図7 試験片外気側表面温度、室内外空気温度測定結果(89～91サイクル)

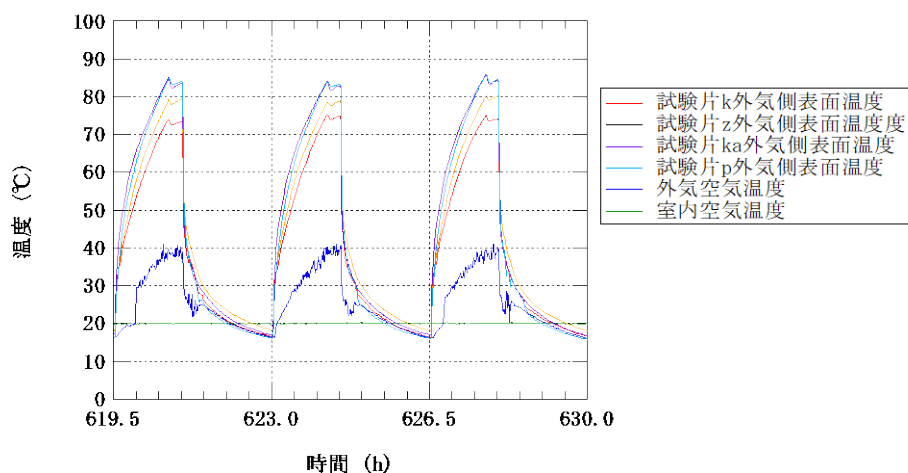


図8 試験片外気側表面温度、室内外空気温度測定結果 (178~180 サイクル)

2.2.3 促進劣化試験による試験材の質量変化

促進劣化後の試験項目としては、「a)質量減少率」、「b)難燃薬剤減少率の測定」、「c)外観の目視観察」が規定されている。

「a)質量減少率」を求めるためにまずは、20°C・60%で2か月間養生を行った試験材の促進劣化試験直前の質量を測定した。促進劣化試験後の質量は、促進劣化試験終了後の3週間の養生期間(規定では少なくとも2週間)後に測定した。加えて、促進劣化試験直後(促進劣化180サイクル終了後に80±3°Cの加熱照射条件で24時間乾燥の工程を含む)の質量も測定した。これらの値から求めた質量変化率について、促進劣化試験直後のそれを表6に、促進劣化試験後から3週間の養生期間を経たそれを表7に示す。

表6 促進劣化試験直後の試験材の質量変化率

試験材の番号		促進劣化試験前 (g)	促進劣化試験直後 (g)	質量変化率 (%) プラスは増加、マイナスは減少
A	9	1102.5	1312.1	19
	10	1146.4	1307.4	14.1
	13	1185.1	1332.3	12.4
	18	1098.5	1238.0	12.7
	22	1131.2	1244.4	10
	24	1068.4	1137.3	6.4
平均		1122.0	1262.0	12.4 (2.8) *平均値の偏差
B	4	1294.5	1394.8	7.8
	9	1189.1	1309.2	10.1
	16	1197.1	1255.4	4.9
	20	1318.4	1409.9	6.9

	22	1274.2	1371.5	7.6
	23	1162.9	1404.8	20.8
平均		1239.4	1357.6	9.7 (3.8) *
C	1	1585.3	1602.6	1.1
	2	1459.9	1639.7	12.3
	4	1498.6	1676.2	11.9
	5	1870.5	2020.1	8
	8	1573.6	1683.3	7
	10	1709.6	1923.3	12.5
平均		1616.3	1757.5	8.8 (3.4) *
D	1	2861.0	2337.4	-18.3
	2	2718.0	2431.6	-10.5
	3	2810.0	2497.5	-11.1
	4	2758.0	2459.6	-10.8
	5	2796.7	2806.6	0.4
	6	2930.4	2599.5	-11.3
平均		2812.4	2522.1	-10.3 (3.5) *

促進劣化直後の質量変化率は、表 6 に示す様に試験材 A では 12.4%の増加、試験材 B では 9.7%の増加、試験体 C では 8.8%の増加であったが、試験体 D では 10.3%の減少となっていた。試験材 A、B、C それぞれの試験材では、試験材の含水率がほぼ恒量に達していたため、散水過程で吸収した水分量が反映されていると考えられた。これに反して、試験材 D では、薬剤注入量が多いことから木材中の水分及び薬剤中の水成分が試験前の養生期間内（2 か月）では抜けきれていなかったと推察され、散水行程での吸水を上回って乾燥過程（照射ランプ）での木材乾燥が進んだものと考えられる。

一方、促進劣化試験後から 3 週間の養生期間を経た質量変化率は、表 7 に示す様に試験材 A では 8.2%の減少、試験材 B では 6.2%の減少、試験材 C では 3.9%の減少、試験材 D では 16.7%の減少であった。これらの値は、促進劣化過程で生じた溶脱による難燃薬剤の減少を反映していると考えられるが、水分減少が加算されている可能性もあり、直ちに難燃薬剤減少率とは判断できない。試験座 A、B、C それぞれの試験材では、促進劣化試験前にほぼ恒量に達していたことから、この質量変化率は難燃薬剤減少率に近い値ではあると思われた。しかし、試験材 D では促進劣化試験直後でも水分の減少が続いていたことから、16.7%の値には水分減少量が加わっていると思われ、難燃薬剤減少率を推定することは出来なかった。試験終了後の養生による難燃薬剤減少率の推定に関しては、以下で考察したい。

表7 促進劣化試験後の養生期間（3週間）を経た試験材の質量変化率

試験体の番号		促進劣化試験前 (g)	試験後の養生後* (g)	質量変化率 (%) マイナスは減少
A	9	1102.5	944.8	-14.3
	10	1146.4	1034.5	-9.8
	13	1185.1	1136.5	-4.1
	18	1098.5	1021.9	-7.0
	22	1131.2	1062.3	-6.1
	24	1068.4	984.4	-7.9
平均		1122.0	1030.7	-8.2 (2.6) **
B	4	1294.5	1205.8	-6.9
	9	1189.1	1062.6	-10.6
	16	1197.1	1152.8	-3.7
	20	1318.4	1228.5	-6.8
	22	1274.2	1240	-2.7
	23	1162.9	1085.9	-6.6
平均		1239.4	1162.6	-6.2 (2.0) **
C	1	1585.3	1448.4	-8.6
	2	1459.9	1457.3	-0.2
	4	1498.6	1481.7	-1.1
	5	1870.5	1757.9	-6.0
	8	1573.6	1475.9	-6.2
	10	1709.6	1684.7	-1.5
平均		1616.3	1550.0	-3.9 (3.0) **
D	1	2861.0	2114.5	-26.1
	2	2718.0	2293.1	-15.6
	3	2810.0	2291	-18.5
	4	2758.0	2285.3	-17.1
	5	2796.7	2440	-12.8
	6	2930.4	2638.7	-10.0
平均		2812.4	2343.8	-16.7 (3.9) **

* 促進劣化試験後の養生は、規定では 20℃・60% で 2 週間以上行うが、試験材が水分を多く吸収したため、養生時間の制約上、60℃ で 5 日間の乾燥行程を 3 週間の養生期間内に設定して乾燥を促進させた。** は平均値の偏差。

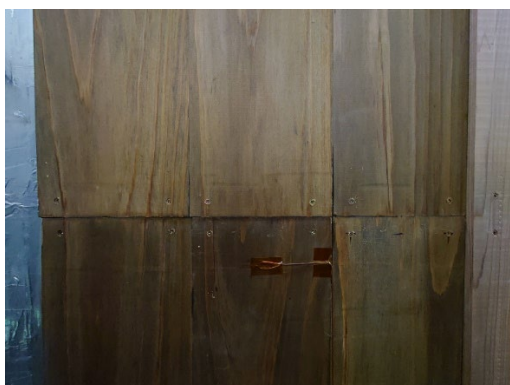
促進劣化試験に規定されている「b)難燃薬剤減少率の測定」については、20°C・60%で3週間（途中で60°C5日の養生を含む）の養生により、試験材から試験中に吸水した水分が完全に抜けたか、或いは抜け過ぎたかを正確に判断することは困難であった。すなわち、今年度の結果は、昨年の報告にある結果「質量減少率は、試験材 A では0%～5%の範囲で生じており平均値は2%となった。試験材 B では、質量が増加したものと質量が減少したものがほぼ半々であり、質量減少率の平均値は0%となった。試験材 C では、全ての試験体で質量増加が1%～19%の範囲で見られ平均値は7%となった。」とは幾つか異なった点が見られた。

試験材 A は昨年と同様の仕様（吸収量は、昨年は120 kg/m³であり今回は124 kg/m³と増加したが）であり、難燃薬剤の溶脱によると考えられる質量減少は昨年の2%から今回は8%に増加した。以下に示す火炎伝播試験や標準コーン試験における試験結果からは、「促進劣化有り」の試験体で難燃性能の低下が見られたことから、試験材 A に於いては数%の難燃薬剤の溶脱が生じたことは確かであると考えた。試験材 B は昨年とほぼ同様の仕様（吸収量は、昨年は167 kg/m³であり今回は130 kg/m³と減少したが）であり、質量変化は昨年の0%から今回は質量減少6%となった。この6%の値も、ほぼ難燃薬剤の溶脱による値であると考えた。試験材 C は昨年とほぼ同様の仕様（吸収量は、昨年は210 kg/m³であり今回は182 kg/m³と減少したが）であり、質量変化は昨年の7%増加から今回は4%の減少となった。この4%の値も、ほぼ難燃薬剤の溶脱による値であると考えた。試験材 D は先に述べたように難燃薬剤率を求めることは困難であった。

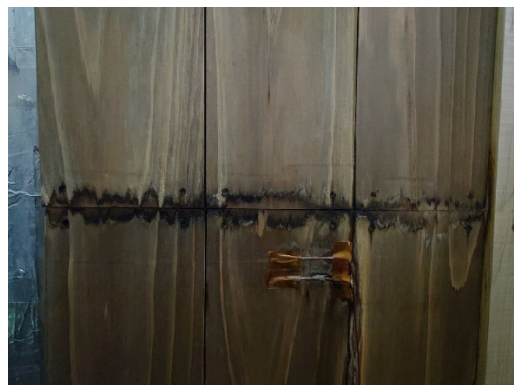
規定された「c)外観の目視観察」の結果を表7に示す。促進劣化試験前後の試験材 A、B、C、Dの外観を写真2～写真5に示す。

表8 促進劣化終了後の試験材外観の目視観察結果

確認項目	試験材 A	試験材 B	試験材 C	試験材 D
ひび割れの発生の有無	無	無	無	無
剥離の発生の有無	無	無	無	無
溶出物質の有無	無	有	有	有
変色・退色などの状況	写真 2	写真 3	写真 4	写真 5

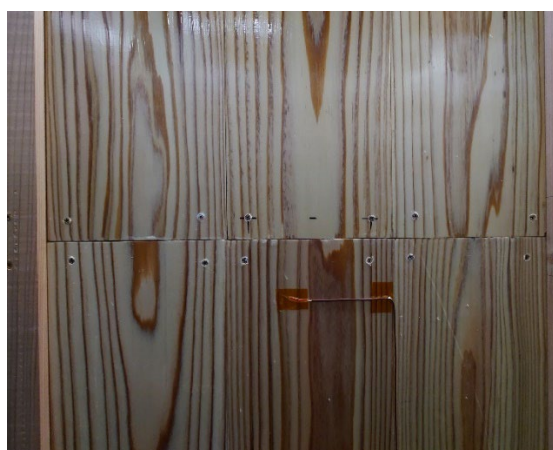


促進劣化試験前

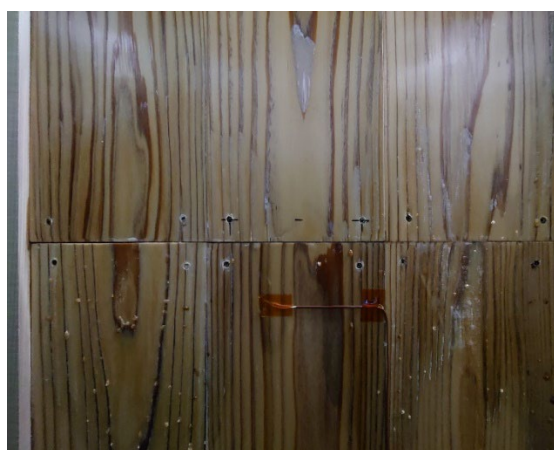


促進劣化試験後

写真2 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材 A 外気側より撮影）

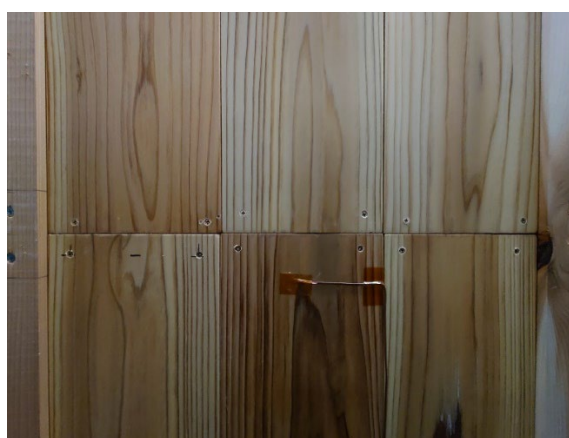


促進劣化試験前

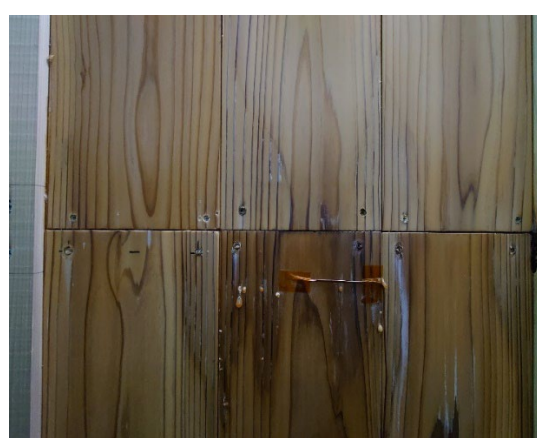


促進劣化試験後

写真3 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材 B 外気側より撮影）

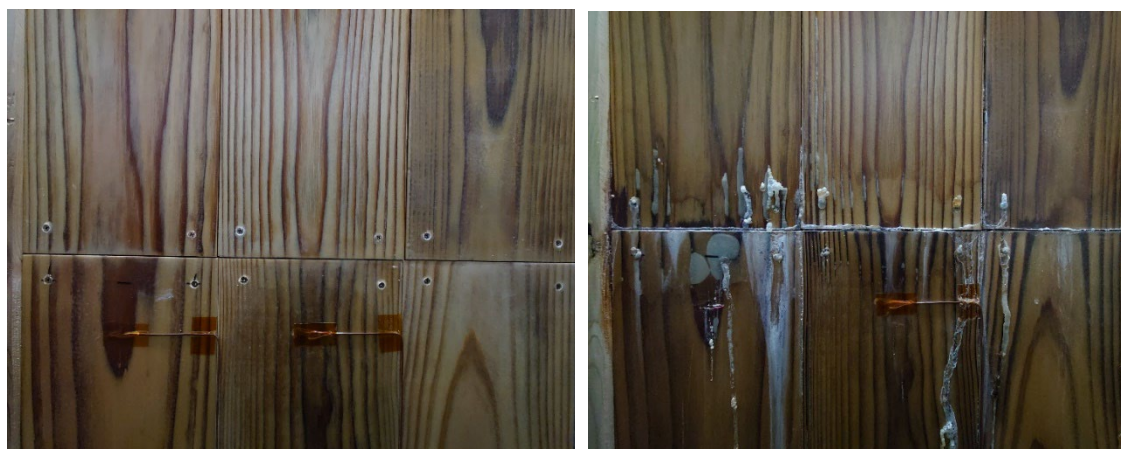


促進劣化試験前



促進劣化試験後

写真4 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材 C 外気側より撮影）



促進劣化試験前

促進劣化試験後

写真5 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材D 外気側より撮影）

2.3 標準コーン試験

コーンカロリメーター試験としては、標準コーン試験¹²⁾及びラージコーン試験¹³⁾の2種を行ったが、本節では標準コーン試験の結果を示す。

試験を行なった標準コーンは、大きさ10×10 cmの試験体をコーン型ヒータで加熱し、発生ガス中の酸素濃度を測定する装置で（写真6）、試験体は50kW/m²で加熱され、電気スパークで着火される。燃焼により減少した酸素濃度から、発熱量及び発熱速度が計算される（図9、図10）。防火材料には、不燃材料、準不燃材料、難燃材料の3種類があり、材料としての要求性能は、①燃焼しないものであること、②防火上有害な変形、溶融、き裂その他の損傷を生じないものであること、③避難上有害な煙又はガスを発生しないものであることである。この性能を不燃材料は20分間、準不燃材料は10分間、難燃材料は5分間維持することが必要である。具体的な判定基準は、①総発熱量が8MJ/m²以下であること、②防火上有害な裏面まで貫通する亀裂・穴が発生しないこと、③最高発熱速度が10秒以上継続して200kW/m²を超えないことである。それぞれの時間は、不燃材料では家具などの燃焼を想定したとき20分の加熱を考慮すれば十分な時間であること、準不燃材料では内装材料の延焼拡大を10分程度抑制できれば階避難が終了すること、そして難燃材料では内装材料の燃焼を5分程度防止できれば居室からの避難ができることからそれぞれの時間が規定されている¹⁴⁾。



写真6 標準コーンの試験装置

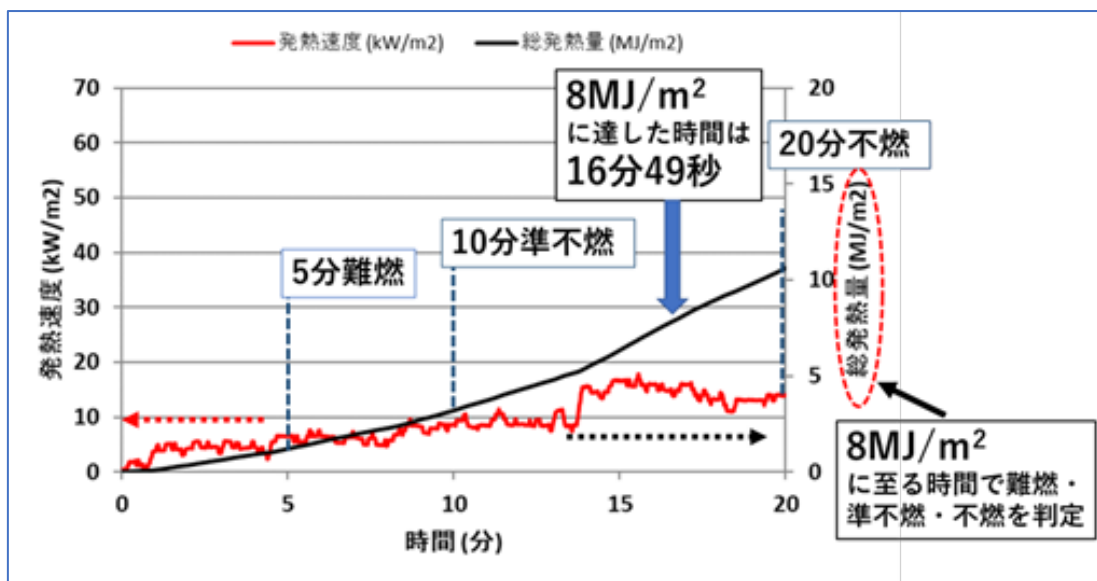


図9 標準コーン試験で得られる総発熱量と発熱速度の例1

試験体 A「促進劣化無し」で難燃薬剤吸収量 120 kg/m³

8MJ/m²に達した時間は16分49秒であり準不燃材料に相当

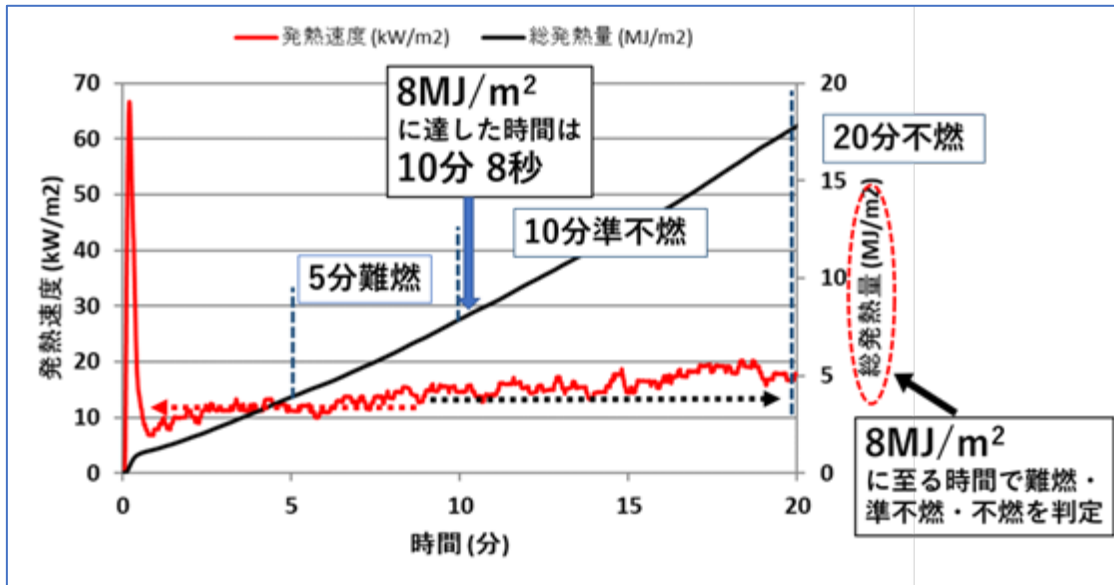


図 10 標準コーン試験で得られる総発熱量と発熱速度の例 2

試験体 A「促進劣化有り」で難燃薬剤吸収量 120 kg/m^3

8 MJ/m^2 に達した時間は 10 分 8 秒であり準不燃材料に相当

2.3.1 試験体の製作と養生

欧州においても、難燃木材の劣化促進試験（試験の内容は異なるが）後に行う火災反応性能耐久性（Durability of reaction to fire performance）試験（EN16755）がある。当試験では、最低でも「木材含水率 40%以下の材料状態で試験を実施」する規定火炎成長速度試験（EN13238）がある。この規程含水率を達成するため、8 週間の養生が求められている。本事業では、促進劣化試験の後に既に養生・乾燥を行ったことと、限られた事業期間のため養生期間を、試験材 A、B、C の標準コーン試験体では 2023 年 1 月 4 日から 1 月 16 日までの 12 日間、ラージコーン試験体では 1 月 4 日から 1 月 24 日までの 20 日間行い各試験体の質量を毎日測定し、試験前の状態調整に問題のないことを確認した。一方、試験材 D の標準コーン試験体とラージコーン試験体については、経時的に質量減少が続いていたため 1 月 27 日まで養生期間を延長したが、ラージコーン試験用の幾つかは規定した安定状態には収まらなかったが、試験に供した。参考のため、コーン試験体を採材したオリジナル試験材から絶乾含水率測定用のサンプルを 2022 年 12 月 27 日に切り出し、 105°C の恒温器中で 48 時間乾燥させて測定した絶乾含水率は既に表 4 に示した。コーン試験のための試験体については、試験材番号とその薬剤吸収量、及び試験体採材位置（端部か中央部か）について、表 9 に記載した。

表9 標準及びラージコーン試験の試験体の薬剤吸収量と試験材からの採材位置

標準コーン試験の試験体				ラージコーン試験の試験体			
試験体番号	試験材番号	薬剤吸収量 (kg/m ³)	試験材の採材位置	試験体番号	試験材番号	薬剤吸収量 (kg/m ³)	試験材の採材位置
A 促進無し 1	3	121	端	A 促進無し 1	2	119	端
2	19	124	中央	2	19	124	中央
3	21	129	中央	3	21	129	中央
A 促進有り 1	9	123	端	A 促進有り 1	10	122	中央
2	13	121	端	2	10	122	中央
3	18	131	中央	3	18	131	中央
B 促進無し 1	8	134	端	B 促進無し 1	5	129	端
2	1	129	中央	2	1	129	中央
3	13	127	中央	3	13	127	中央
B 促進有り 1	9	128	端	B 促進有り 1	23	137	中央
2	20	129	端	2	23	137	中央
3	4	126	中央	3	4	126	中央
C 促進無し 1	6	180	端	C 促進無し 1	3	179	端
2	9	185	中央端	2	9	185	中央
3	12	176	中央	3	12	176	中央
C 促進有り 1	1	177	端	C 促進有り 1	2	178	中央
2	2	178	端	2	4	186	中央
3	2	178	中央	3	4	179	中央
D 促進無し 1	12	-	端	D 促進無し 1	8	480	端
2	7	490	中央	2	7	480	中央
3	10	-	中央	3	10	-	中央
D 促進有り 1	1	481	端	D 促進有り 1	2	463	中央
2	3	-	端	2	2	463	中央
3	4	-	中央	3	4	-	中央
無処理 1	2	薬剤無し	端	無処理 1	1	薬剤無し	端
2	4	薬剤無し	端	2	3	薬剤無し	端
3	5	薬剤無し	中央	3	5	薬剤無し	中央

- 薬剤量データ紛失

2.3.2 標準コーン試験の結果

標準コーン試験と 2.4.3 に示す低発熱コーン試験は、共に 20 分の試験データで評価を行

ったが（表 10 と表 12）、海外では建築物ファザードの燃えひろがり評価について、30 分の試験もあることから、その試験データを参考のため得ることにした（表 11 と表 13）。

総発熱量 (MJ/m^2) を「促進劣化無しと有り」で比較すると、試験体 A では平均値で 13.1 と 25.2 MJ/m^2 、試験体 B では 17.0 と 27.4 MJ/m^2 、試験体 C では 10.1 と 10.0 MJ/m^2 、試験体 D では 0.9 と 5.8 MJ/m^2 であった（図 11）。「促進劣化有り」では「促進劣化無し」に比べて 20 分後の総発熱量は、総体としては 2 倍弱の傾向であり、既往の標準コーン試験では約 2 倍の値であり¹⁵⁾、ほぼ同様の値であると言える。スギ無処理試験体では 93.8 MJ/m^2 であった。試験材の製作は、提供する各社の裁量に委ねた。そのため、試験材 A、B、C では準不燃材料を想定したことから、「促進劣化無し」の試験材では薬剤吸収量の相違はあるが、総発熱量の基準からは共に準不燃の性能を示した。一方、試験材 D では不燃材料を想定したため、促進劣化無しの試験材では、総発熱量の基準からは不燃材料の性能を示した。

試験体 A と B では、「促進劣化有り」の試験体では「促進劣化無し」の試験体に比べて総発熱量が増加した。難燃薬剤の吸収量がそれぞれ 124 kg/m^3 、130 kg/m^3 と少ないため、薬剤溶脱の影響が表れたと考えられる。試験体 A と B において「促進劣化有り」の繰返し 3 の試験体の中で最大の総発熱量を示した試験体は、「A 促進劣化有り - 1」と「B 促進劣化有り - 1」であり、共に試験材の端部から採材したものであった。すなわち、「A 促進劣化有り - 1」では防火材料区分が準不燃材料から難燃材料に変化し、「B 促進劣化有り - 1」では防火材料区分は準不燃材料から防火区分なしに変化し、更に最高発熱速度が 200 kW/m^2 を越す時間が「なし」から 4 秒に増加した。試験材の端部からは難燃薬剤が溶脱し易い可能性があると考えられた。しかし、促進劣化試験中に生ずる難燃薬剤の溶脱の進み方やそれに伴う薬剤の再分布が分っていないことから、このことについての考察は今後の課題であるとした。そのため今後は、薬剤溶脱の挙動を、JIS 促進劣化試験と実際の屋外暴露について調べる必要がある。一方、試験体 C と試験体 D では「促進劣化無しと有り」では、明確な違いは認められなかった。薬剤の吸収量がそれぞれ 182 kg/m^3 、473 kg/m^3 と多いため、薬剤溶脱の影響が顕在化しなかった可能性が考えられる。繰返し数 3 の試験体間での総発熱量の変動は、次に示すラージコーン試験に比較して大きかった。

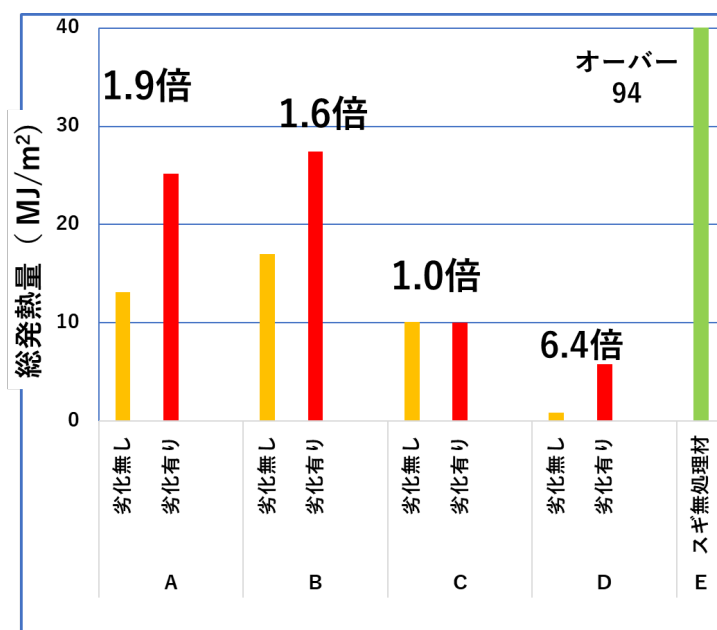


図 11 標準コーン試験での「促進劣化無し」と「促進劣化有り」の総発熱量 (MJ/m²)

最高発熱速度 (kW/m²) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 24.7 と 82.5 kW/m²、試験体 B では 175.5 と 176.9 kW/m²、試験体 C では 129.7 と 109.0 kW/m²、試験体 D では 8.2 と 73.1 kW/m²であった。スギ無処理試験体では 180.1 kW/m²であった。

試験後の燃焼の状況については、紙面の都合により試験体 A の「促進劣化無し」(写真 7) と「促進劣化有り」(写真 8)、試験体 B の「促進劣化有り」(写真 9)、及び無処理スギ試験体 (写真 10) の例を示す。

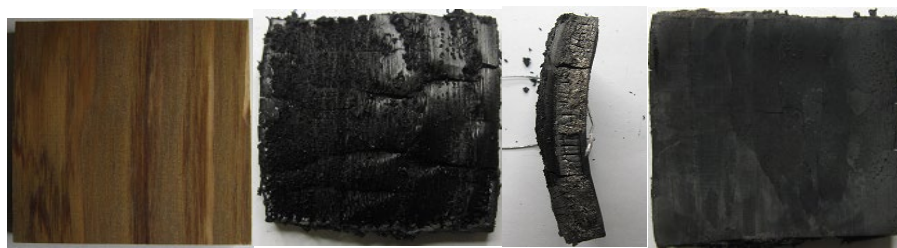


写真 7 試験体 A の促進劣化無し-2 の状況 (右から試験前、試験後正面、側辺、裏面)



写真 8 試験体 A の促進劣化有り-3 の状況 (右から試験前、試験後正面、側辺、裏面)

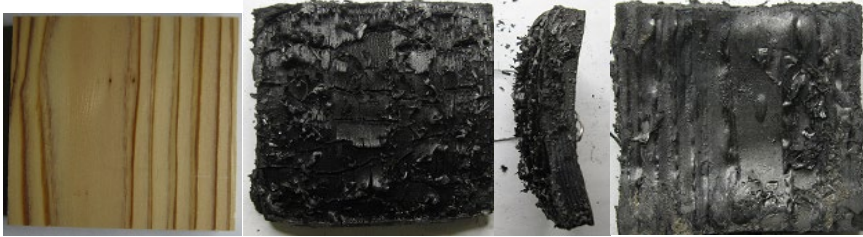


写真9 試験体 B の促進劣化有り-2 の状況（右から試験前、試験後正面、側辺、裏面）

総発熱量と最高発熱速度では、繰返し数 3 の試験体間の変動を見るため、試験体 A の「促進劣化無しと有り」について、グラフを図 12～図 14 に示す。繰返し数 3 の間の変動を見るため、横軸は 20 分の試験時間としたが、縦軸のスケールは最大値に合わせて示した。なお図 12 の「試験体 A 促進劣化無し-1」と「促進劣化有り-1」は別々の試験体であり、図 13 と図 14 も同様である。

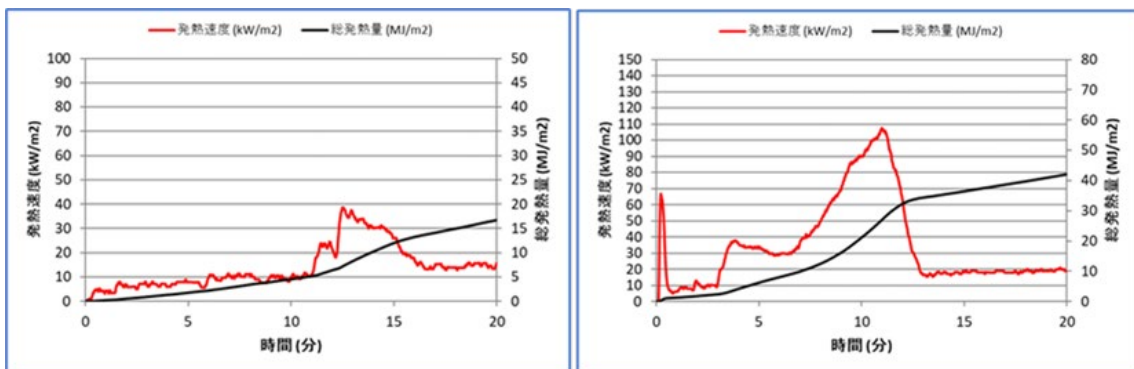


図 12 試験体 A 促進劣化無し-1（左）と促進劣化有り-1（右）の総発熱量と最高発熱速度

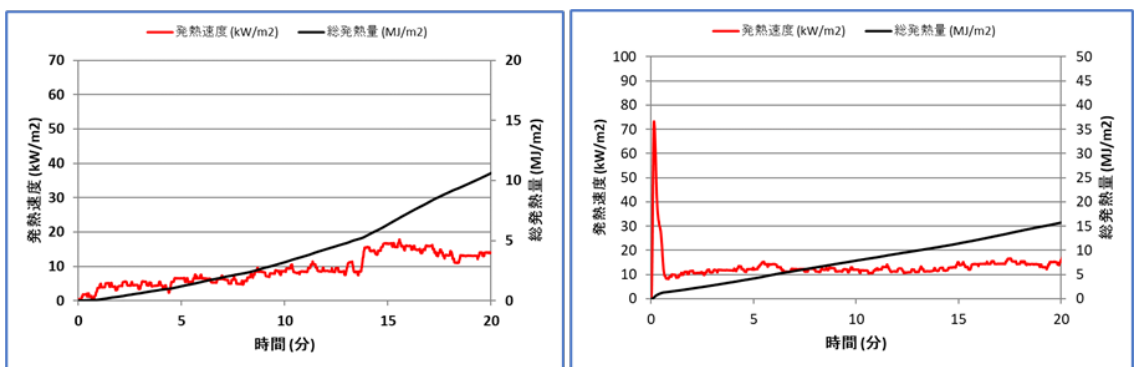


図 13 試験体 A 促進劣化無し-2（左）と促進劣化有り-2（右）の総発熱量と最高発熱速度

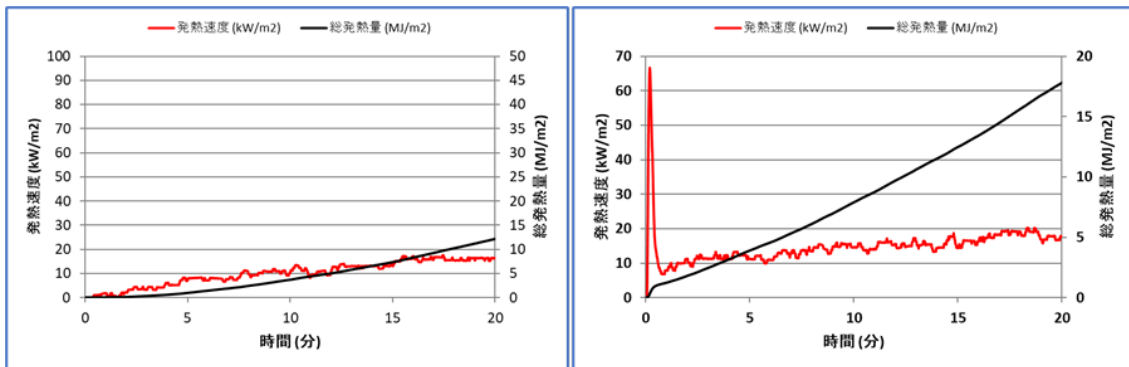


図 14 試験体 A 促進劣化無し-3 (左) と促進劣化有り-3 (右) の総発熱量と最高発熱速度

試験体 B の 1 例を図 15 に、無処理スギ試験体の例を図 16 に例示する。試験体 B では、「促進劣化無しと有り」の繰返し 3 の試験体全てにおいて共に試験開始直後に発熱速度が大きく、塗料の影響が考えられた。

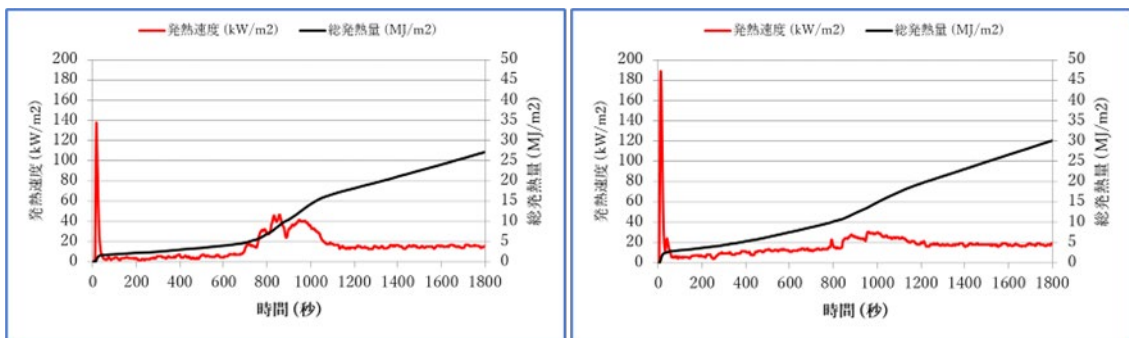


図 15 B 促進劣化無し-2 (左) と促進劣化有り-2 (右) 試験体の総発熱量と最高発熱速度



写真 10 スギ無処理-2 試験体の状況 (右 灰のみ)

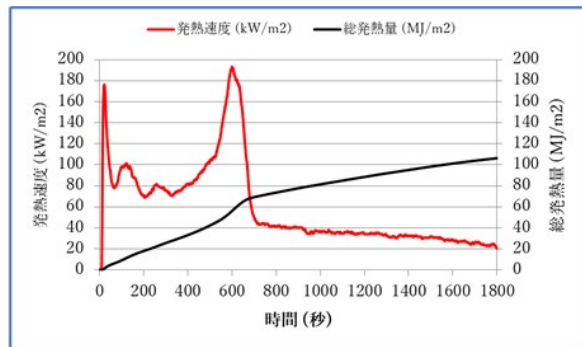


図 16 スギ無処理-2 試験体の総発熱量と最高発熱速度

表 10 標準コーン試験の 20 分での総発熱量 (MJ/m²) と最高発熱速度 (kW/m²)

試験体	総発熱量 (MJ/m ²)	防火材料 の区分*	最高発熱速度 (kW/m ²)	裏面に達す る亀裂の 有無**	200kW/m ² を越す時間
A 促進劣化無し 1	16.7	準不燃	38.8	-	なし
2	10.6	準不燃	17.7	-	なし
3	12.1	準不燃	17.7	-	なし
平均	13.1		24.7		
A 促進劣化有り 1	42.0	難燃	107.6	-	なし
2	15.8	準不燃	73.1	-	なし
3	17.8	準不燃	66.7	-	なし
平均	25.2		82.5		
B 促進劣化無し 1	12.6	準不燃	148.8	-	なし
2	18.2	準不燃	137.6	-	なし
3	20.2	準不燃	240.2	-	5 秒
平均	17.0		175.5		
B 促進劣化有り 1	48.9	区分なし	227.1	-	4 秒
2	19.5	準不燃	188.6	-	なし
3	13.9	準不燃	115.0	-	なし
平均	27.4		176.9		
C 促進劣化無し 1	9.1	準不燃	147.7	-	なし
2	9.7	準不燃	128.0	-	なし
3	11.5	準不燃	113.3	-	なし
平均	10.1		129.7		
C 促進劣化有り 1	9.7	準不燃	124.0	-	なし
2	10.7	準不燃	122.4	-	なし
3	9.7	準不燃	80.5	-	なし
平均	10.0		109.0		
D 促進劣化無し 1	1.0	不燃	17.8	-	なし
2	1.1	不燃	3.2	-	なし
3	0.6	不燃	3.6	-	なし
平均	0.9		8.2		
D 促進劣化有り 1	8.2	不燃	94.7	-	なし
2	7.7	不燃	119.9	-	なし
3	1.6	不燃	4.7	-	なし

平均		5.8		73.1		
スギ無処理	1	97.7		166.9		なし
	2	95.3		180.3		なし
	3	88.3		193.1		なし
平均		93.8		180.1		

* 防火材料の区分は総発熱量が8 MJ/m²以下である試験時間で判定した

** 割れについては着火から30分の測定を行ったため、30分の結果(表11)において示す

表11 標準コーン試験の30分での総発熱量(MJ/m²)と最高発熱速度(kW/m²)

試験体	総発熱量(MJ/m ²)	最高発熱速度(kW/m ²)	裏面に達する亀裂の有無	200kW/m ² を越す時間
A 促進劣化無し 1	30.7	38.8	有	なし
	2	28.2	有	なし
	3	22.1	有	なし
平均	27.0	25.8		
A 促進劣化有り 1	54.9	107.6	有	なし
	2	25.7	無	なし
	3	28.6	有	なし
平均	36.4	82.5		
B 促進劣化無し 1	21.8	148.8	無	なし
	2	27.1	無	なし
	3	30.8	無	5秒
平均	26.6	175.5		
B 促進劣化有り 1	61.9	227.1	有	4秒
	2	30.0	無	なし
	3	24.3	無	なし
平均	38.7	176.9		
C 促進劣化無し 1	13.5	147.7	無	なし
	2	15.7	無	なし
	3	18.2	無	なし
平均	15.8	129.7		
C 促進劣化有り 1	15.3	124.0	無	なし
	2	17.1	無	なし
	3	16.2	無	なし
平均	16.2	109.0		

D 促進劣化無し 1	0.4	17.8	無	なし
2	0.3	2.9	無	なし
3	0.2	3.1	無	なし
平均	0.3	7.9		
D 促進劣化有り 1	12.6	94.7	無	なし
2	12.6	119.9	無	なし
3	0.1	4.7	無	なし
平均	8.4	73.1		
スギ無処理 1	120.9	166.9	有	なし
2	114.6	180.3	有	なし
3	106.1	193.1	有	なし
平均	113.9	180.1		

2.3.3 ラージコーン試験

ラージコーン試験¹³⁾は、完全に発達した火災で高レベルの放射熱にさらされたときに、低レベルの熱放出をする材料の評価を行う方法で、0、75 MJ / m²から 15 MJ / m²の総発熱量となる試験体のような少量の可燃性要素のみを含む材料を対象としている。標準コーン試験とは異なった特定の試験片サイズ、試験片ホルダー、試験片の向き、O₂分析の体積流量、試験が行われる放射照度レベルなどの項目が規定されている（写真11）¹⁶⁾。



写真11 ラージコーンの試験装置

2.3.4 ラージコーン試験の結果

ラージコーン試験における総発熱量 (MJ/m²) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 10.7 と 16.1 MJ/m²、試験体 B では 10.1 と 13.8 MJ/m²、試験体 C では 7.8 と 9.1 MJ/m²、試験体 D では 1.7 と 1.4 MJ/m²であった。スギ無処理試験体では

75.3 MJ/m²であった。促進劣化により総発熱量が増加することは、標準コーン試験と同様の傾向であった。「促進劣化有り」では「促進劣化無し」に比べて、20分後の総発熱量は1.5倍弱の傾向であり、標準コーン試験に比べて総体として2~3割低かった。(図17)

ラージコーン試験では、標準コーン試験に比べて繰返し試験体 (n=3) 間の数値の変動が小さく安定した結果が得られた。これは、試験体面積が2.25倍と大きく、更にダクト排気が12L/分と小さいため、感度が5倍向上し(測定誤差精度は5分の1に改善)、標準コーンよりも製品本来の性質に近い精密な評価が可能であり、外壁材料評価により適していることが示された。

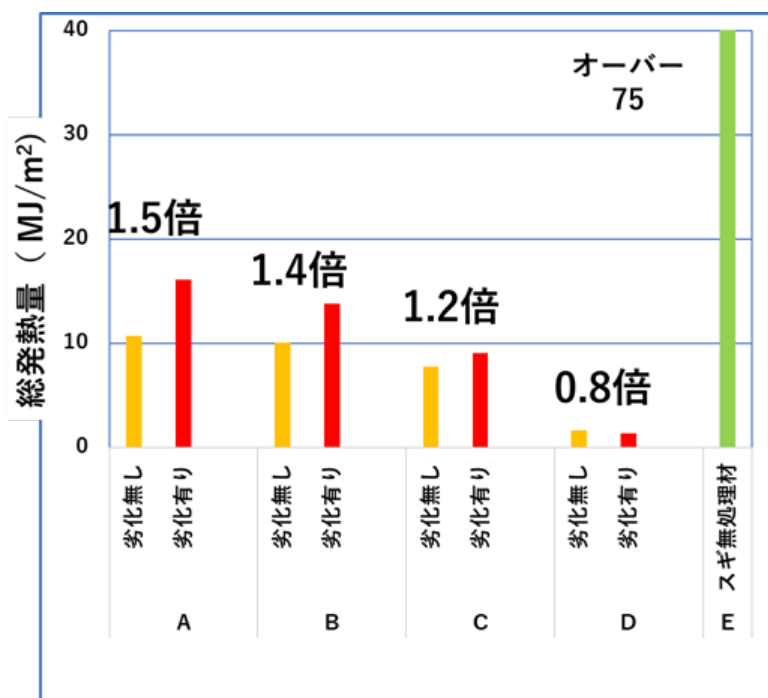


図17 ラージコーン試験での「促進劣化無しと有り」の総発熱量 (MJ/m²)

最高発熱速度 (kW/m²) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 15.6 と 49.0 kW/m²、試験体 B では 98.1 と 110.0 kW/m²、試験体 C では 78.5 と 91.0 kW/m²、試験体 D では 8.3 と 2.9W/m²であった。スギ無処理試験体では 153.3 kW/m²であった。促進劣化により最高発熱速度が増加することは、標準コーン試験と同様の傾向であった。最高発熱速度も標準コーン試験に比べて総体として2~3割低い傾向にあった。

試験前後の燃焼の状況について、試験体 A の「促進劣化無し」(写真 12)、「促進劣化有り」(写真 13)、試験体 B の「促進劣化無し」(写真 14)、「促進劣化有り」(写真 15) を紙面の都合により例として示す。



写真 12 ラージコーン試験での試験体 A 促進劣化無し-2 の状況（右から試験前、試験後正面、側辺、裏面）



写真 13 ラージコーン試験での試験体 A 促進劣化有り-2 の状況（右から試験前、試験後正面、側辺、裏面）



写真 14 ラージコーン試験での試験体 B 促進劣化無し-2 の状況（右から試験前、試験後正面、側辺、裏面）



写真 15 ラージコーン試験での試験体 B 促進劣化有り-3 の状況（右から試験前、試験後正面、側辺、裏面）

総発熱量と最高発熱速度のグラフについては、試験体 A の「促進劣化無しと有り」の 1 例について図 18、試験体 B の「促進劣化無しと有り」の 1 例について図 19 に示す。無処理スギ試験体は図 20 に示す。試験体 C と試験体 D については割愛する。横軸の試験時間スケールについては測定時間を延長した試験体もあるため統一せず示し、縦軸の総発熱量

と最高発熱速度は最大値に合わせて示した。

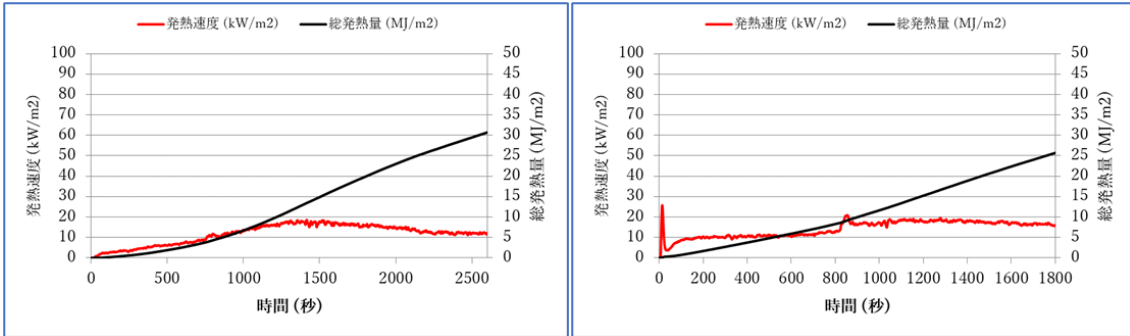


図 18 A 促進劣化無し-2 (左) と A 促進劣化無し-2 (右) の総発熱量と最高発熱速度

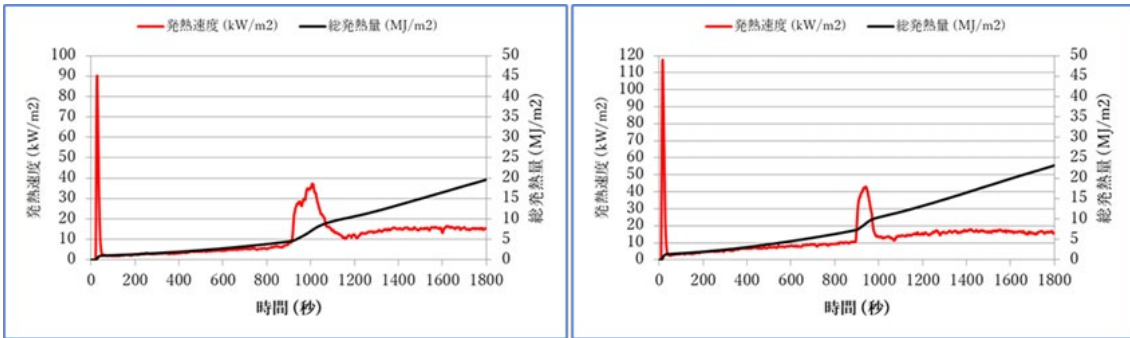


図 19 B 促進劣化無し-2 (左) と B 促進劣化無し-3 (右) の総発熱量と最高発熱速度

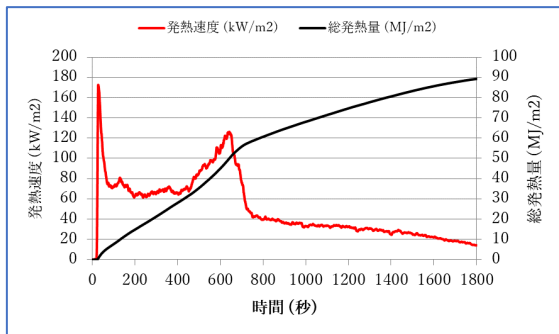


図 20 無処理スギ試験体の総発熱量と最高発熱速度

表 12 ラージコーン試験の総発熱量 (20分・MJ/m²) と最高発熱速度 (kW/m²)

試験体	総発熱量 (MJ/m ²)	最高発熱速度 (kW/m ²)	裏面に達する亀裂の有無	200kW/m ² を越す時間
A 促進劣化無し 1	10.0	13.1	-	なし
2	9.7	16.3	-	なし
3	12.3	17.3	-	なし
平均	10.7	15.6		

A 促進劣化有り	1	17.5	59.6	-	なし
	2	15.3	25.8	-	なし
	3	15.6	61.7	-	なし
平均		16.1	49.0		
B 促進劣化無し	1	9.6	102.3	-	なし
	2	10.6	90.3	-	なし
	3	10.0	101.8	-	なし
平均		10.1	98.1		
B 促進劣化有り	1	12.8	98.1	-	なし
	2	15.3	114.5	-	なし
	3	13.2	117.5	-	なし
平均		13.8	110.0		
C 促進劣化無し	1	7.0	73.2	-	なし
	2	7.5	72.5	-	なし
	3	9.0	89.9	-	なし
平均		7.8	78.5		
C 促進劣化有り	1	8.3	103.6	-	なし
	2	11.4	109.8	-	なし
	3	7.7	59.5	-	なし
平均		9.1	91.0		
D 促進劣化無し	1	2.4	20.3	-	なし
	2	1.5	1.9	-	なし
	3	1.3	2.7	-	なし
平均		1.7	8.3		
D 促進劣化有り	1	1.2	3.4	-	なし
	2	1.9	3.1	-	なし
	3	1.1	1.8	-	なし
平均		1.4	2.8		
スギ無処理	1	74.8	172.3	-	なし
	2	77.3	147.0	-	なし
	3	73.7	140.7	-	なし
平均		75.3	153.3		

表 13 ラージコーン試験の総発熱量 (30分・MJ/m²) と最高発熱速度 (kW/m²)

試験体	総発熱量 (MJ/ m ²)	最高発熱速度 (kW/m ²)	裏面に達する 亀裂の有無	200kW/m ² を越す時間
A 促進劣化無し 1	25.4	16.0	有	なし
2	26.3	18.7	有	なし
3	26.5	18.5	有	なし
平均	26.1	17.7		
A 促進劣化有り 1	27.4	59.6	有	なし
2	25.8	25.8	有	なし
3	25.7	61.7	有	なし
平均	26.3	49.0		
B 促進劣化無し 1	18.9	102.3	有	なし
2	19.8	90.3	無	なし
3	21.3	101.8	有	なし
平均	20.0	98.1		
B 促進劣化有り 1	22.8	98.1	無	なし
2	29.0	114.5	有	なし
3	23.2	117.5	有	なし
平均	25.0	110.0		
C 促進劣化無し 1	12.2	73.2	無	なし
2	12.4	72.5	無	なし
3	14.4	89.9	有	なし
平均	13.0	78.5		
C 促進劣化有り 1	13.7	103.6	無	なし
2	18.7	109.8	無	なし
3	13.5	59.5	無	なし
平均	15.3	91.0		
D 促進劣化無し 1	5.1	20.3	有	なし
2	2.6	2.2	無	なし
3	2.7	3.4	無	なし
平均	3.5	8.6		
D 促進劣化有り 1	2.0	3.4	無	なし
2	3.6	3.7	無	なし
3	2.3	2.7	無	なし
平均	2.6	3.3		

スギ無処理	1	89.4	172.3	有	なし
	2	91.6	147.0	有	なし
	3	89.0	140.7	有	なし
平均		90.0	153.3		

標準コーン試験とラージコーン試験の結果について、「燃えひろがり試験」との関係を考察する。コーン試験では20分までの防火性能は維持される傾向があるが、時間を延長して測定した結果、20分を超えると発熱量は低いが、炎を伴い燃焼する試験体が多数あったことから、燃えひろがり試験において燃え抜けの可能性もあるかも知れない。

コーン試験では一定の放射熱を与え続けるため「総発熱量」が大きくなるが、実際の燃えひろがり試験では、火源から遠ざかると放射熱が小さくなることで燃えひろがりは低下する。すなわち、コーン試験と燃えひろがり試験の相違点に留意し、より現実に近い状況で性能をみることができ燃えひろがり試験の重要性を認識する必要がある。

2.5 火炎伝播試験

火炎伝播試験¹⁷⁾の概要を表14に示す。火炎伝播試験は「促進劣化無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について、(一社)電線総合技術センターで行なった。試験の測定項目を表15に示す。測定項目であるCFE(消火時の臨界熱流束)は図21の輻射熱流束の分布から求められた。熱線照射パネルと試験体を15度の離隔(右上図)で配置し(写真16)、図21の分布を持つ熱流束を照射して火炎の横方向への広がりを測定し、消火点における臨界熱流束(CFE: Critical heat Flux at Extinguishment)を求めた。

表14 火炎伝播試験の概要

試験規格	ISO 5658-2 Reaction to fire tests – Spread of flame – Part 2:Lateral spread on building and transport products in vertical configuration
概要	熱線照射パネルと試験体を15度の離隔(右上図)で配置し、右下図の分布を持つ熱流束を照射して火炎の横方向への広がりを測定し、火炎が伝播した距離からCFE(消火時の臨界熱流束)を求める
試験片	800mm×155mm×厚さ(50mm以下)
試験時間	火炎消火後10分間又は火炎が終端に到達するまで (着火しない場合は10分間)

表 15 火炎伝播試験の測定項目

CFE (Critical heat Flux at Extinguishment)	消火時の臨界熱流束 試験片の水平中心線上の最大火炎伝播距離における熱流束 (kW/m ²)
Qsb (Average heat for sustained burning)	持続燃焼のための平均熱量 試験開始から特定の位置(150~400mmの間の50mm間隔)に火炎が到達するまでの時間とその位置における熱流束の積の平均値 (MJ/m ²) 150mm : 到達時間(秒)×熱流束 200mm : 到達時間(秒)×熱流束 250mm : 到達時間(秒)×熱流束 300mm : 到達時間(秒)×熱流束 350mm : 到達時間(秒)×熱流束 400mm : 到達時間(秒)×熱流束

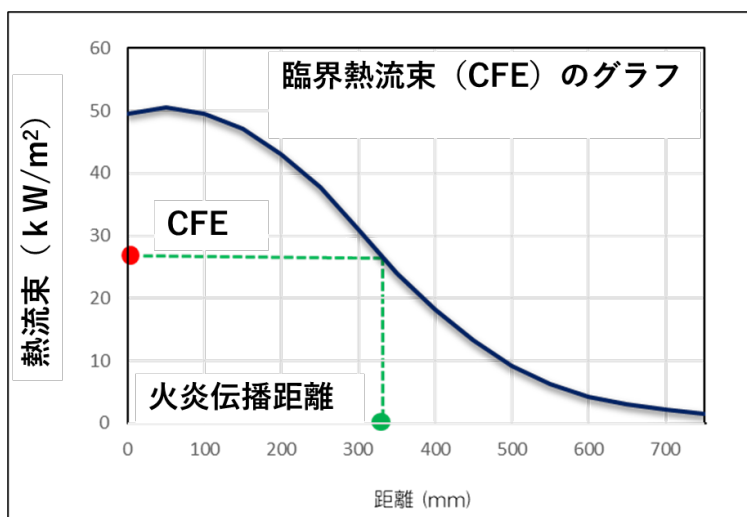


図 21 火炎伝播距離と CFE (消火時の臨界熱流束) の関係

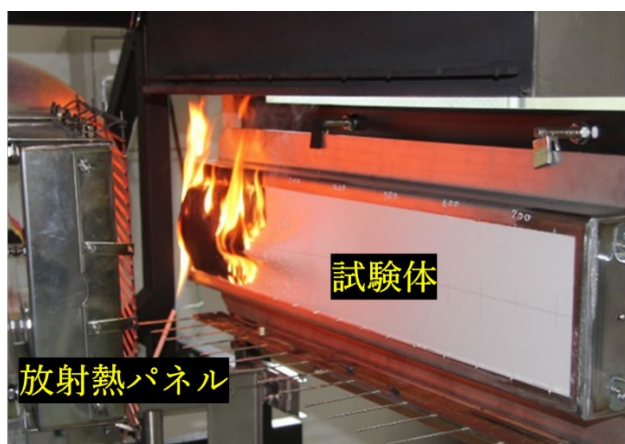


写真 16 火炎伝播試験の光景

2.5.1 試験体の製作

木材には異方性があり、放射方向と接線方向の間では大きな差はないが、これらと直行する繊維方向とは大きな違いがある。後者は前者に比べ、諸強度で 10 数倍¹⁸⁾、熱伝導率で 2.5 倍¹⁹⁾ の大きな値をとることが知られている。そのため、木材の縦張・横張と言った壁面への使い方において、繊維方向による熱伝導度の違いが、火炎伝播試験の成績に影響を及ぼすかどうかについても検証を行った(図 22)。試験体寸法は、規格では長さ 800(+0、-5)mm×幅 155(+0、-5)mm×厚さと規定されているため、試験体 D では幅が 158mm (薬剤注入により膨潤したためと思われる)であったため、試験体の採材時に 155mm にした。それ以外の試験体 A、B、C では 155mm 以下であったことから成り行き寸法とした。

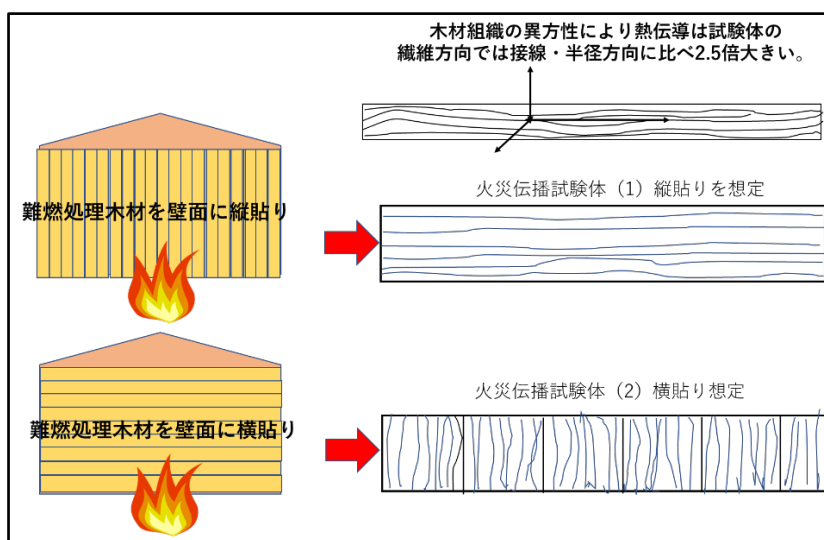


図 22 外壁での板張りの方向性を想定した試験体

2.5.2 火炎伝播試験の結果

火炎伝播試験では、熱線照射パネルと試験試料を 15 度の離隔(下イメージ図参照)で配置し、上図の分布を持つ熱流束を照射して火炎の横方向への広がりを測定し、火炎が伝播した距離から臨界熱流束(以下、CFE^{*1}という)を求め、試験体の横方向への火炎伝播距離(mm)から火炎伝播特性を CFE の数値として評価した。

まずは横張の結果について述べる(表 16)。試験体 A の「促進劣化無し」では、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 16.8、火炎伝播距離が 410 mm となり、促進劣化試験により薬剤の溶脱が進んだことが推察された。試験体 A では難燃薬剤吸収量が相対的に少ないこと、塗装面が表面と両木口の 3 面であったこと、塗料の塗布量が 80 g/m²と他試験体に比べて最も低かったことが薬剤溶脱量に影響したと考えた。

※ 1 CFE : Critical Heat Flux at Extinguishment 単位 ; kW/m²)

表 16 横張試験体の火炎伝播試験結果の概要

試験体	試験体番号	試験体の難燃薬剤の吸収量 (kg/m)	CFE (kW/m ²)	火炎伝播距離 (mm)	Qsb (MJ/m ²)
A促進劣化無し 横張	A2	119	50.0	0	計算不能
促進劣化有り 横張	A9	124	16.8	410	0.484
B促進劣化無し 横張	B9	129	34.9	270	0.428
促進劣化有り 横張	B5	128	50.3	50	計算不能
C促進劣化無し 横張	C3	179	50.2	80	計算不能
促進劣化有り 横張	C1	177	39.9	230	0.563
D促進劣化無し 横張	D8	480	50.0	0	計算不能
促進劣化有り 横張	D1	481	50.0	0	計算不能
無処理 横張1	無1	-	6.8	530	0.553
無処理 横張2	無3	-	8.0	510	0.611

一方、試験体 B では「促進劣化無し」では、CFE が 34.9、火炎伝播距離が 270 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 50.3、火炎伝播距離が 50 mm となり、「促進劣化無し」の性能が「促進劣化有り」に比較して低い結果となって現れた。その理由は不明ではあるが、試験体 A では塗料の塗布量が 260 g/m² と他試験体に比べて最も大きかったことが影響した可能性が考えられる。促進劣化試験により可燃性と思われる塗料が劣化・剥離することで、試験体本体の性能が現れたと考えた。

試験体 C では、「促進劣化無し」では、CFE が 50.2、火炎伝播距離が 80 mm となり、「促進劣化有り」では CFE が 39.9、火炎伝播距離が 230 mm となり性能は少し低下した。試験体 C でも可燃性と思われる塗料の塗布量は 210 g/m² と多いが、難燃薬剤吸収量がそれぞれ 179 kg/m³、177 kg/m³ と多いことで結果は説明されると考えた。

試験体 D では、不燃木材を想定しており難燃薬剤吸収量が 473 kg/m³ と極めて多いため、「促進劣化無し」及び、「促進劣化有り」とともに、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm であった。

横張試験体の結果をグラフにまとめると (図 23)、「促進劣化無し」では、試験体 A、C、D では CFE は 50 と判定された。「促進劣化有り」の試験体では、CFE は試験体 D > B・C > A となり、コーン試験の総発熱量と概ね相関していることが分かった。

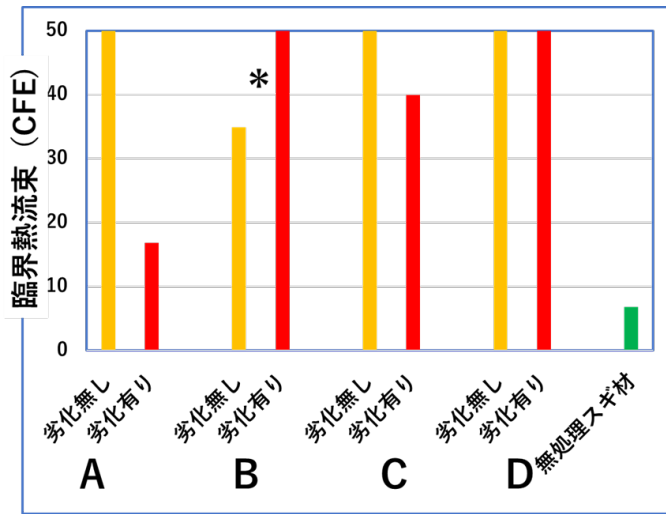


図 23 横張試験体の火炎伝播試験結果の概要

*試験体 B のみ促進劣化の前・後でイレギュラーな大小関係であり、塗料の影響である可能性がある

試験体 A、B、C、D (横張) の「促進劣化無しと有り」を写真 17～写真 20 に、試験体 A (縦張) の「促進劣化無しと有り」を写真 21 に、無処理スギ試験体の試験前と試験後の試験体の状況を写真 22 に示す。



写真 17 試験体 A (横張) の「促進劣化無し」(左) と「促進劣化有り」(右) の状況



写真 18 試験体 B (横張) の「促進劣化無し」(左) と「促進劣化有り」(右) の状況



写真 19 試験体 C (横張) の「促進劣化無し」(左) と「促進劣化有り」(右) の状況



写真 20 試験体 D (横張) の「促進劣化無し」(左) と「促進劣化有り」(右) の状況



写真 21 試験体 A (縦張) の「促進劣化無し」(左) と「促進劣化有り」(右) の状況



写真 22 無処理スギ試験体の試験前と試験後の状況

次に参考のため、縦張の結果について述べる (表 17)。参考とした理由は、B の「促進劣化有り」においては、試験体の方向を 90 度違えて貼って試験を行ったためである。

縦張試験体 A の「促進劣化無し」では、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 19.2、火炎伝播距離が 390 mm となり、横張試験体 A とほぼ同

様の値となった。促進劣化試験により薬剤の溶脱が進んだことが再度確認できた。

縦張試験体 B の「促進劣化無し」では、CFE が 37.4、火炎伝播距離が 250 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 34.9、火炎伝播距離が 270 mm となり、ほぼ同じ値となった。この点は、横張試験体 B の「促進劣化無しと有り」の CFE のイレギュラーな大小関係とは異なった結果である。

縦張試験体 C の「促進劣化無し」では、CFE が 42.1、火炎伝播距離が 210mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 41.0、火炎伝播距離が 220mm となった。両者の差はほとんど認められなかった。横張試験体 C においても、両者の差はほとんど認められなかった。

縦張試験体 D の「促進劣化無し」では、CFE が 50.3、火炎伝播距離が 50mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0mm となった。横張試験体 D においても、両者の差は認められなかった。

横張試験体と縦張試験体の違いによる CFE 及び火炎伝播距離への影響は殆どないと思われた。例えば、A「促進劣化有り」の横張試験体と縦張試験体ではそれぞれ、16.8 kW/m²と 410 mm、19.2 kW/m²と 390 mm、無処理 1 ではそれぞれ、6.8 kW/m²と 530 mm、6.8 kW/m²と 530 mm であった。本試験は、横方向への火炎伝播性を評価する試験であり、縦方向への火炎伝播性の試験であれば異なる結果になることも考えられる。

表 17 縦張試験体の火炎伝播試験結果の概要

試験体	試験材 番号	試験材の難燃薬剤の 吸収量 (kg/m ³)	CFE (kW/m ²)	火炎伝播距離 (mm)	Qsb (MJ/m ²)
A 促進劣化無し 縦張	A3	121	50.0	0	N.C. *
促進劣化有り 縦張	A13	121	19.2	390	0.567
B 促進劣化無し 縦張	B8	134	37.4	250	0.587
促進劣化有り**横張	B20	129	34.9	270	0.626
C 促進劣化無し 縦張	C6	180	42.1	210	0.755
促進劣化有り 縦張	C10	182	41.0	220	0.660
D 促進劣化無し縦張	D12	***	50.3	50	N.C.
促進劣化有り縦張	D3	***	50.0	0	N.C.
無処理 縦張 1	無 2	-	6.8	530	0.963
無処理 縦張 2	無 4	-	6.3	540	1.017

* 計算不能 試験実施の際に誤って分割した試験体の繊維方向を横向きにして試験を行ったため、参考ータとする

** 縦張とすべきところを横張した

*** データ欠損 (480 kg/m³程度)

各試験体の結果の詳細を表 18～表 22 に示す。

表 18 試験体 A の結果の詳細

項目		促進劣化 無し 横張	促進劣化 有り 横張	促進劣化 無し 縦張	促進劣化 有り 縦張
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	-	7	-	8
	100	-	8	-	8
	150	-	8	-	9
	200	-	10	-	9
	250	-	14	-	15
	300	-	18	-	23
	350	-	22	-	31
	400	-	33	-	-
	450	-	-	-	-
	500mm	-	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		0	410	0	390
CFE (kW/m ²)		50.0	16.8	50.0	19.2
Qsb (MJ/m ²)		N.C.	0.484	N.C.	0.567
着火時間 (秒)		着火せず	7	着火せず	6
消化時間 (秒)		-	43	-	消化せず*
試験時間 (秒)		600	643	600	1800

表 19 試験体 B の結果の詳細

項目		促進劣化 無し 横張	促進劣化 有り 横張	促進劣化 無し 縦張	促進劣化 有り 縦張
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	8	12	6	6
	100	8	-	8	8
	150	9	-	13	11
	200	10	-	13	17
	250	12	-	15	18
	300	-	-	-	-
	350	-	-	-	-
	400	-	-	-	-
	450	-	-	-	-
	500mm	-	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		270	50	250	270

CFE (kW/m ²)	34.9	50.3	37.4	34.9
Qsb (MJ/m ²)	0.428	N.C.	0.587	0.626
着火時間 (秒)	6	4	4	4
消化時間 (秒)	31	21	24	257
試験時間 (秒)	631	621	624	857

表 20 試験体 C の結果の詳細

項目		促進劣化 有り 横張	促進劣化 無し 横張	促進劣化 有り 縦張	促進劣化 無し 縦張
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	21	11	13	10
	100	-	12	14	13
	150	-	12	16	14
	200	-	13	18	17
	250	-	-	-	-
	300	-	-	-	-
	350	-	-	-	-
	400	-	-	-	-
	450	-	-	-	-
	500mm	-	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		80	230	210	220
CFE (kW/m ²)		50.2	39.9	42.1	41.0
Qsb (MJ/m ²)		N.C.	0.563	0.755	0.660
着火時間 (秒)		10	5	5	4
消化時間 (秒)		51	25	47	35
試験時間 (秒)		651	625	647	635

表 21 試験体 D の結果の詳細

項目		促進劣化 有り 横張	促進劣化 無し 横張	促進劣化 有り 縦張	促進劣化 無し 縦張
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	-	-	-	64
	100	-	-	-	-
	150	-	-	-	-
	200	-	-	-	-
	250	-	-	-	-
	300	-	-	-	-

	350	-	-	-	-
	400	-	-	-	-
	450	-	-	-	-
	500mm	-	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		0	0	50	0
CFE (kW/m ²)		50.0	50.0	50.3	50.0
Qsb (MJ/m ²)		N.C.	N.C.	N.C.	N.C.
着火時間 (秒)		65	48	21	32
消化時間 (秒)		114	73	117	127
試験時間 (秒)		714	673	717	727

表 22 無処理試験体の結果の詳細

項目		促進劣化 無し 横張	促進劣化 有り 横張	促進劣化 無し 縦張	促進劣化 有り 縦張
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	8	7	9	7
	100	10	8	12	11
	150	11	9	16	16
	200	13	9	18	18
	250	16	12	24	21
	300	24	28	35	31
	350	27	46	50	47
	400	33	64	77	76
	450	46	174	125	141
	500mm	105	530	179	195
火炎伝播距離 (mm)		510	530	540	530
CFE (kW/m ²)		8.0	6.8	6.3	6.8
Qsb (MJ/m ²)		0.611	0.553	1.017	0.963
着火時間 (秒)		3	5	5	4
消化時間 (秒)		1468	1243	1519	1647
試験時間 (秒)		1800	1800	1800	1800

2.6 難燃処理試験体の屋外暴露試験 (木材表面劣化の経時的変化)

2.6.1 難燃処理した木質外構部材の屋外環境下での外装用処理薬剤の性能確認

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。難燃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により経時的な木材表面変色・白華の測定を行なった。

2.6.2 屋外暴露架台での木材表面変色・白華の経時的試験

以下に示す東西南北垂直暴露試験により、難燃薬剤処理木材の薬剤溶脱性及び耐候性を評価した。これは、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暴露試験であり、実際の建物外壁に難燃処理木材を使用した場合の気象環境の違いによる薬剤溶脱及び木材表面劣化現象を把握することができる。

2.6.3 暴露試験

(1) 塗装した難燃処理試験片の耐候性評価 (2020 年度事業で暴露試験を開始)

- ①試験片：スギ辺材 柁目材 試験片の寸法 (長さ：150mm×幅：55mm×厚さ：18mm)
- 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 5g/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/試験片)
- ⑥試験片調製：
 - i. 難燃薬剤注入+塗装処理 (15 枚) No.1~15
 - ii. 難燃薬剤注入+無塗装 (15 枚) No.16~30
 - iii. 難燃薬剤注入処理無し+塗装処理 (15 枚) No.31~45
 - iv. 難燃薬剤注入処理無し+塗装処理無し (15 枚) No.46~60
- ⑦屋外暴露方法：東西南北各面垂直暴露 (写真 23)
- 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) (写真 23)
(北緯 35 度 22 分 82 秒 80、東経 139 度 46 分 90 秒 08、標高 49m)
- ⑨暴露試験期間：2020 年 10 月 6 日~2022 年 12 月
- ⑩測定項目：薬剤溶脱量、表面色差、東西南北各面表面温度及び積算日射量
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セットし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. 東面暴露：No.1~3、16~18、31~33、46~48
 - ii. 西面暴露：No.4~6、19~21、34~36、49~51
 - iii. 南面暴露：No.8~9、22~24、37~39、52~54
 - iv. 北面暴露：No.10~12、25~27、40~42、55~57

(2)難燃薬剤の種類、塗装処理の違いによる薬剤溶脱性(2021 年度事業で暴露試験を開始)

①試験片：スギ辺材柱目試験片 ((長さ)200x(幅)120x(厚さ)18mm)

試験片 I

薬剤 (リン酸アミノ系、平均処理量 124kg/m³)

保存剤処理 (無し)

塗装処理 (含浸形アルキド樹脂塗料、表面及び側面塗装、平均塗布量 80g/m²)

試験片 II

薬剤 (リン・窒素系、平均処理量 130kg/m³)

保存剤処理 (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、平均薬剤吸収量 9.0kg/m³)

塗装処理 (造膜形ウレタン系、全面塗装、平均塗布量 260g/m²)

試験片 III

薬剤 (ホウ酸・リン酸アンモニウム系、平均処理量 182kg/m³)

保存剤処理 (アゾール・ネオニコチノイド化合物系、平均薬剤吸収量 0.32kg/m³)

塗装処理 (造膜形ウレタン系、全面塗装、平均塗布量 210g/m²)

②暴露試験：各試験片の種類と暴露方位を表 23 に示す。

表 23 試験片の種類と暴露方位 (A は I、B は II、C は III と読み替え)

暴露方位	試験片(A)	試験片(B)	試験片(C)
東面	2-1.a (含浸塗装)	1-1,a (造膜塗装)	ト1-1(35-1) (造膜塗装)
	2-2.a (含浸塗装)	1-2,a (造膜塗装)	ト2-1(45-1) (造膜塗装)
		2-1,a (無塗装)	△1-1 (無塗装)
		2-2,a (無塗装)	△2-1 (無塗装)
西面	5-1.a (含浸塗装)	1-3,a (造膜塗装)	ト1-2(35-2) (造膜塗装)
	5-2.a (含浸塗装)	1-4,a (造膜塗装)	ト2-2(45-2) (造膜塗装)
		2-3,a (無塗装)	△1-2 (無塗装)
		2-4,a (無塗装)	△2-2 (無塗装)
南面	6-1.a (含浸塗装)	1-5,a (造膜塗装)	ト1-3(35-3) (造膜塗装)
	6-2.a (含浸塗装)	1-6,a (造膜塗装)	ト2-3(45-3) (造膜塗装)
		2-5,a (無塗装)	△1-3 (無塗装)
		2-6,a (無塗装)	△2-3 (無塗装)
北面	10-1.a (含浸塗装)	1-7,a (造膜塗装)	ト1-4(35-4) (造膜塗装)
	10-2.a (含浸塗装)	1-8,a (造膜塗装)	ト2-4(45-4) (造膜塗装)
		2-7,a (無塗装)	△1-4 (無塗装)
		2-8,a (無塗装)	△2-4 (無塗装)

③屋外暴露方法：東西南北各面垂直暴露 (写真 23)

④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 (写真 23)

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

⑤暴露試験期間：2021年12月10日～2022年12月5日（試験継続中）

⑥測定項目：薬剤溶脱量、表面色差、東西南北各面表面温度及び積算日射量

写真23で示す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セットし屋外暴露試験を行った。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。



写真23 四面垂直暴露架台（左）と暴露場所である屋上（右）

2.6.4 暴露結果と考察

(1) 塗装した難燃処理試験片の耐候性評価

写真24～写真27に、2020年度事業で屋外暴露を開始した各試験片の暴露28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では難燃薬剤注入処理材で塗料顔料が残存しているが、薬剤注入されていない試験材では含浸形塗料の顔料はほぼ消失していたことから、リン酸系薬剤の塗装耐候性向上効果が認められた。無塗装試験片は薬剤注入の有無に関係無く全て灰色化していた。難燃処理した試験片については、暴露28ヶ月では薬剤の溶脱による白華現象は見られなかった。また、北面に暴露した薬剤処理試験片では下部に緑色の藻類の発生がみられた（赤丸図示）。これは、難燃薬剤中に含まれるリン成分の影響が考えられる。

図24に、暴露28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の色差(ΔE^*)を示す。表面の変色は、暴露15ヶ月後と比較すると、暴露28ヶ月後において薬剤処理されていない試験片では無塗装材より色差は小さいが、塗料顔料が剥落したため暴露15ヶ月後と比較してその差がわずかとなった。一方、含浸形塗料で塗装した難燃処理試験材では塗料顔料が残存しているため無塗装あるいは無処理塗装材と比べて色差変化が抑制された。薬剤処理の有無では、薬剤処理した試験片の方が変色は塗装材及び無塗装材共に小さい傾向を示した。暴露方位の違いでは、難燃処理+塗装材では変色は東面>西面>北面>>南面の順に大きい傾向を示し、難燃処理+無塗装材では東面=西面=南面>>北面となった。難燃処理無し+塗装材では色差は西面>南面>東面>北面となり、無塗装材では難燃処理材と同様に東面=西面=南面>北面となった。

図25に暴露28ヶ月後における各試験材の暴露方位別の質量減少率を示す。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の経時変化は、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%であった。暴露 28 ヶ月では、塗装有り 5.0%、塗装無し 6.3%と暴露期間と共に増加する傾向が継続した。塗装処理をした方が質量減少率は少ないが、無塗装との差は 1.3%となり若干拡大した。

暴露方位では、暴露 28 ヶ月における難燃薬剤処理試験材は、塗装有りで南面 5.1%、北面 4.9%、西面 4.6%、東面 4.6%、塗装無しで西面 6.5%、南面 6.5%、東面 6.2%、北面 6.0%であり、西面あるいは南面の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。西面あるいは南面の質量減量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 24、表 25）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た。

薬剤を注入処理していない試験片では、暴露 28 ヶ月後には塗装有りで平均 1.6%、塗装無しで 2.6%の質量減少が見られた。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。また暴露方位での質量減少率は、塗装有りで南面>西面>東面>北面、塗装無しでも南面>西面>東面>北面と同様の傾向を示した。



東面 西面 南面 北面

写真 24 暴露 28 ヶ月後（難燃処理+塗装処理試験片）



東面 西面 南面 北面

写真 25 暴露 28 ヶ月後（難燃処理+塗装処理試験片）



東面 西面 南面 北面

写真 26 暴露 28 ヶ月後 (難燃処理無し+塗装処理試験片)



東面 西面 南面 北面

写真 27 暴露 28 ヶ月後 (難燃処理無し+塗装処理無し試験片)

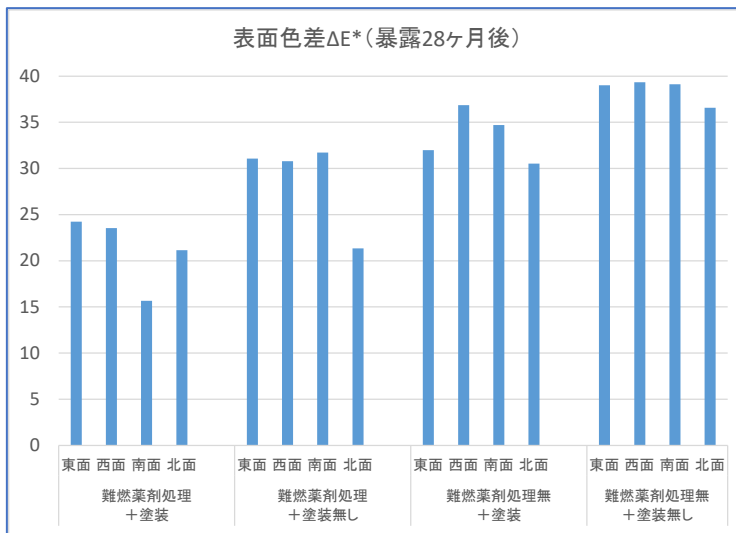


図 24 難燃薬剤処理の有無と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 28 か月後の色差変化

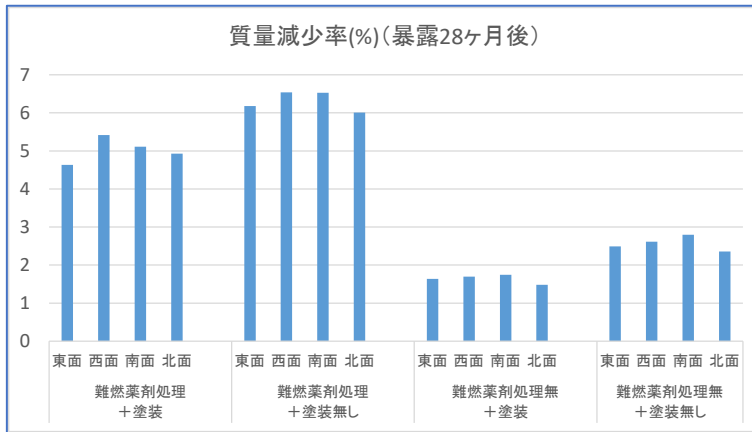


図 25 難燃薬剤処理の有無と塗装の有無の相違がある試験片の暴露 28 か月後の質量減少率

(2) 難燃薬剤の種類、塗装処理違いによる薬剤溶脱性

写真 28～写真 37 に、2021 年度事業で暴露を開始した各種難燃処理及び塗装処理した試験片の暴露前及び暴露 12 ヶ月後の写真を示す。写真 28、写真 29 は含浸形木材保護塗料で塗装した試験片 I であるが、屋外暴露により表面が暗色化した。また、暴露 12 ヶ月では各方位とも白華は見られなかった。写真 30～33 は、東西南北各面に暴露した着色造膜形塗装及び無塗装の試験片 II である。試験片 II は難燃薬剤の他に防腐・防蟻剤も注入されている。暴露 12 ヶ月後において、造膜形塗装した試験片には顕著な変化は見られなかったが、無塗装試験片では木材の光劣化及び薬剤の溶脱により木材の持つ黄色系の色調から薄い灰色に変化した。また、その傾向に暴露方位による差は無かった。写真 34～37 は、東西南北各面に暴露した透明系造膜形塗装及び無塗装の試験片 III である。これも難燃薬剤の他に防腐・防蟻剤が注入されている。暴露 12 ヶ月後において、造膜形塗装した試験片は塗膜剥離と共に材色が褐色への暗色化が見られた。暴露方位の違いによる塗膜剥離の傾向としては、南面＝西面＝東面＞北面であった。無塗装試験片では、試験片 II 以上に薬剤の溶出による白華現象と木材表面の劣化による薄い灰色化が見られた。特に東面に暴露した試験片の白華現象が激しかった。

図 26～図 28 に、暴露 6 ヶ月及び 12 ヶ月における薬剤処理別の色差を暴露方位別に示した。図 26 は試験片 I であり、難燃薬剤処理後に着色含浸形木材保護塗料を塗装したものである。暴露期間と共に北面を除き色差は増加し、暴露 12 ヶ月における方位別の色差は東面＞＞北面＝西面＞南面の順となり、特に東面で色差が増大した。図 27 は、難燃薬剤処理後に着色造膜型塗装あるいは無塗装の試験片 II の方位別色差を示す。暴露期間と共に色差が増大し、無塗装の試験体の方が大きな値となった。塗装試験片は濃色の造膜形塗装であるため暴露 12 ヶ月後でも色差は小さい傾向を示した。方位別では、塗装試験片は方位の差はほとんど無かった。一方、無塗装材では東面＞＞西面＞南面＝北面の順となり、特に東面での変色が大きかった。図 28 は難燃薬剤処理後に透明系造膜型塗装あるいは無塗装の試験片

IIIの、暴露 12 ヶ月までの方位別色差を示す。ほとんどの暴露面で暴露期間と共に色差が増大したが、東面と南面は塗装材の方が色差が大きく、西面と北面では無塗装材の方が色差が大きい傾向を示した。暴露 12 ヶ月後の方位別の傾向は、塗装材では東面>>>南面=西面>>北面、無塗装材では西面>東面>南面>北面の順であった。

図 29～図 31 に、暴露 12 ヶ月後における薬剤処理別の質量減少率を暴露方位別に示す。図 6 は含浸形塗装の試験片 I であるが、質量減少率は北面>南面>西面>東面の順であった。図 30 に着色造膜塗装及び無塗装の試験片 II の質量減少率を示すが、質量減少率は造膜形塗装により大幅に抑制され、方位別では南面>西面>北面=東面の順であった。一方、無塗装試験片は質量減少が大きく、方位別では南面>北面=西面=東面となった。暴露 12 ヶ月では着色造膜塗装の劣化が少ないために難燃薬剤の溶脱が抑制されていると思われる。図 31 は透明造膜塗装及び無塗装の試験片 III の質量減少率を示す（北面の無塗装は試験片損傷のため欠測）。質量減少率は試験片 I や II と比較して 3 倍以上大きい値を示した。塗装試験片の方が無塗装に比べて少ないが、塗装材でも質量減少率は 10%を超えており、これは試験片 II の無塗装試験片と同程度の値である。暴露 12 ヶ月において透明造膜塗装が劣化して薬剤の溶脱に繋がったと考えられる。方位別の差が小さいことから、全ての方位で塗膜劣化が進行したと思われる。無塗装試験片では質量減少率が 35%を超えており、暴露方位の違いはほとんど無かった。

以上の結果から、難燃薬剤自体の溶脱性は試験片 I が最も少なく、次いで試験片 II であり、試験片 III は I 及び II の 3 倍以上の減少率であった。塗装の効果としては造膜形塗装面が健全な間はある程度薬剤の溶脱を抑制できるが、塗膜が劣化すると薬剤の溶脱が急速に増大する。暴露方位では、南面での質量減少率が若干大きくなり、他の東面、西面、北面との差は小さかった。



試験片 A (東面 暴露前)

試験片 A (西面 暴露前)



試験片 A (東面 暴露 12 ヶ月後)

試験片 A (西面 暴露 12 ヶ月後)

写真 26 東面及び西面での暴露試験の試験片 A (含浸形木材保護塗料塗布)



試験片 A (南面 暴露前)

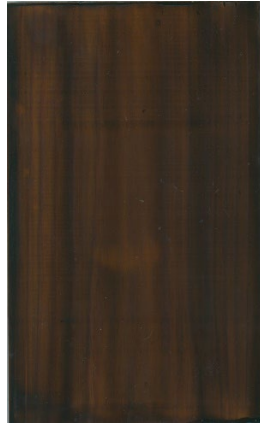
試験片 A (北面 暴露前)



試験片 A (南面 暴露 12 ヶ月後)

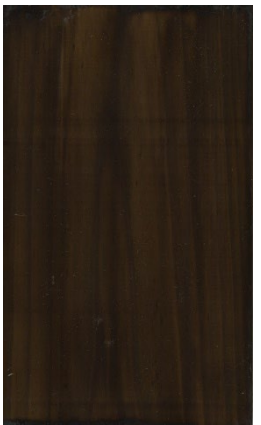
試験片 A (北面 暴露 12 ヶ月後)

写真 27 南面及び北面暴露試験の試験片 A (含浸形木材保護塗料塗布)



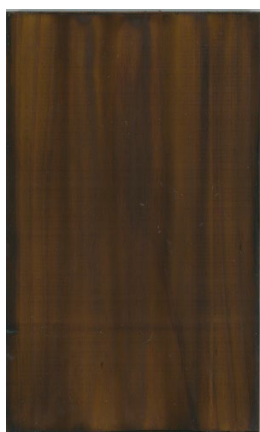
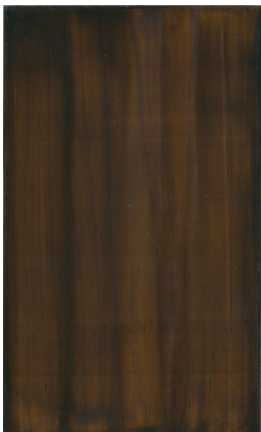
試験片 B 造膜塗装 (東面 暴露前)

試験片 B 無塗装 (東面 暴露前)

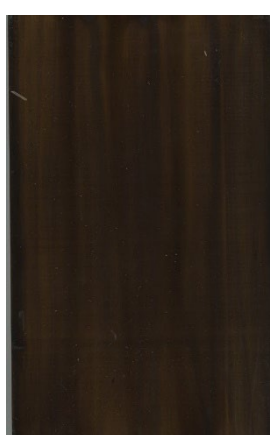


試験片 B 造膜塗装 (東面 暴露 12 ヶ月後) 試験片 B 無塗装 (東面 暴露 12 ヶ月後)

写真 28 東面暴露試験の試験片 B (造膜形塗装 or 無塗装)



試験片 B 造膜塗装 (西面 暴露前)



試験片 B 無塗装 (西面 暴露前)



試験片 B 造膜塗装 (西面 暴露 12 ヶ月後) 試験片 B 無塗装 (西面 暴露 12 ヶ月後)

写真 28 西面暴露試験の試験片 B (造膜形塗装 or 無塗装)



試験片 B 造膜塗装 (南面 暴露前)

試験片 B 無塗装 (南面 暴露前)



試験片 B 造膜塗装（南面 暴露 12 ヶ月後） 試験片 B 無塗装（南面 暴露 12 ヶ月後）
 写真 30 南面暴露試験の試験片 B（造膜形塗装 or 無塗装）



試験片 B 造膜塗装（北面 暴露前） 試験片 B 無塗装（北面 暴露前）



試験片 B 造膜塗装（北面 暴露 12 ヶ月後） 試験片 B 無塗装（北面 暴露 12 ヶ月後）
 写真 31 北面暴露試験の試験片 B（造膜形塗装 or 無塗装）



試験片 C 造膜塗装 (東面 暴露前)

試験片 C 無塗装 (東面 暴露前)



試験片 C 造膜塗装 (東面 暴露 12 ヶ月後) 試験片 C 無塗装 (東面 暴露 12 ヶ月後)

写真 32 東面暴露試験の試験片 C (造膜形塗装 or 無塗装)

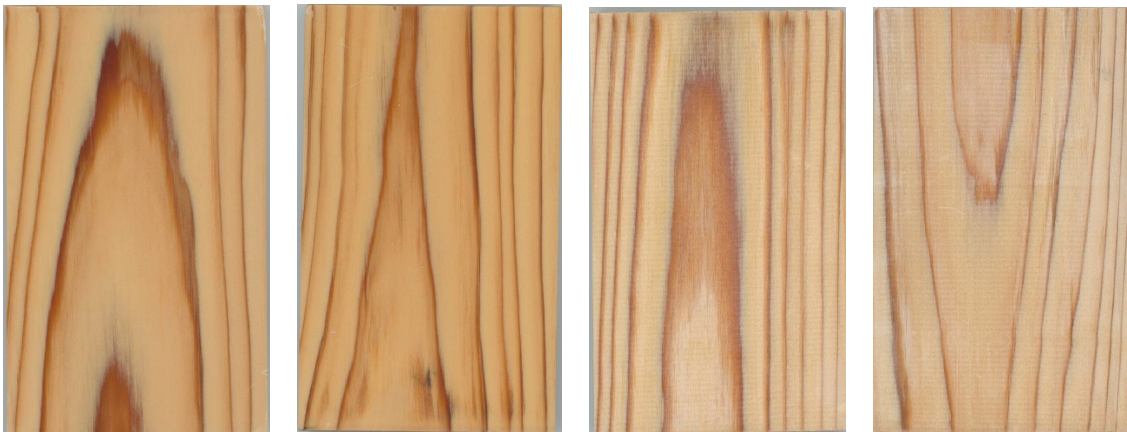


試験片 C 造膜塗装 (西面 暴露前)

試験片 C 無塗装 (西面 暴露前)



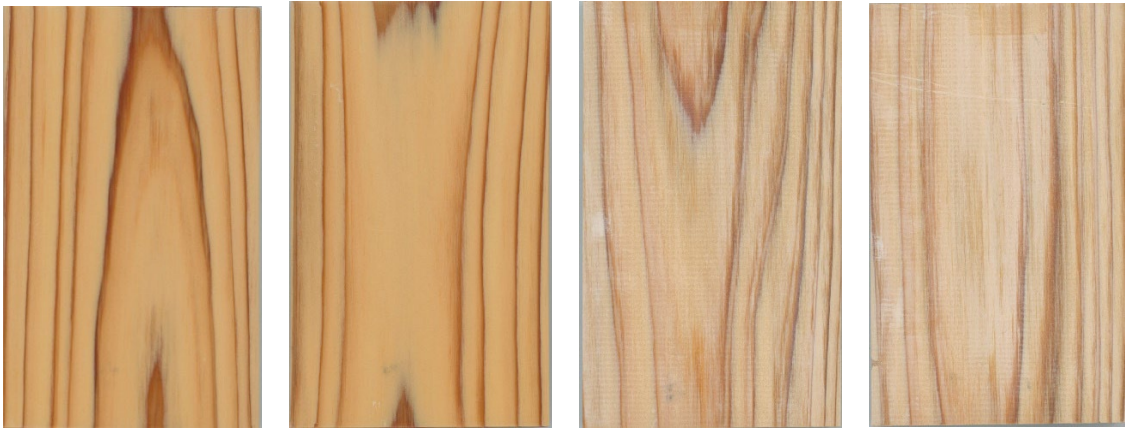
試験片 C 造膜塗装（西面 暴露 12 ヶ月後） 試験片 C 無塗装（西面 暴露 12 ヶ月後）
 写真 33 西面暴露試験の試験片 C（造膜形塗装 or 無塗装）



試験片 C 造膜塗装（南面 暴露前） 試験片 C 無塗装（南面 暴露前）

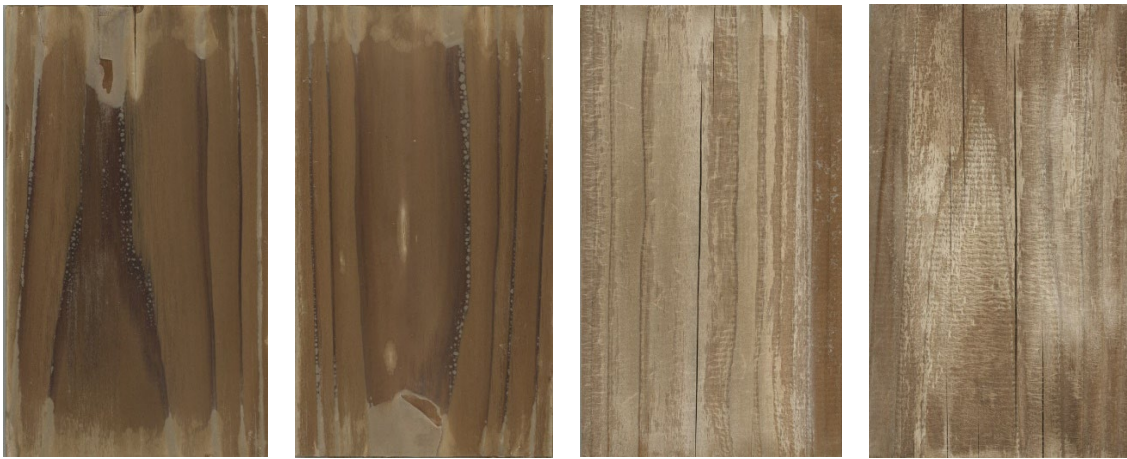


試験片 C 造膜塗装（南面 暴露 12 ヶ月後） 試験片 C 無塗装（南面 暴露 12 ヶ月後）
 写真 34 南面暴露試験の試験片 C（造膜形塗装 or 無塗装）



試験片 C 造膜塗装 (北面 暴露前)

試験片 C 無塗装 (北面 暴露前)



試験片 C 造膜塗装 (北面 暴露 12 ヶ月後)

試験片 C 無塗装 (北面 暴露 12 ヶ月後)

写真 35 北面暴露試験の試験片 C (造膜形塗装 or 無塗装)

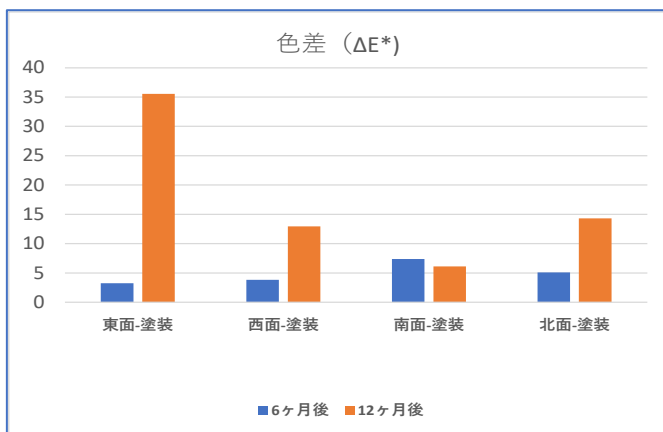


図 23 暴露 12 ヶ月における試験片 A の暴露方位別色差変化

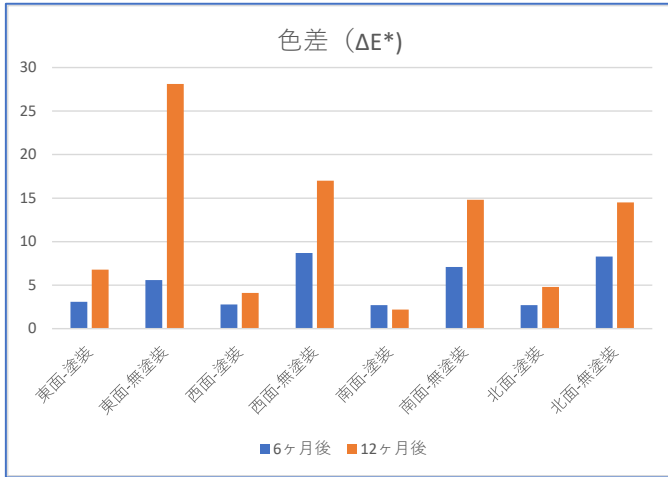


図 24 暴露 12 ヶ月における試験片 B の暴露方位別色差変化の質量減少率

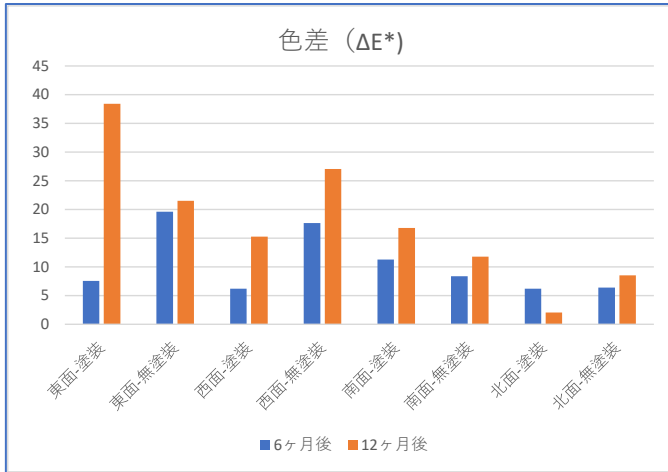


図 25 暴露 12 ヶ月における試験片 C の暴露方位別色差変化の質量減少率

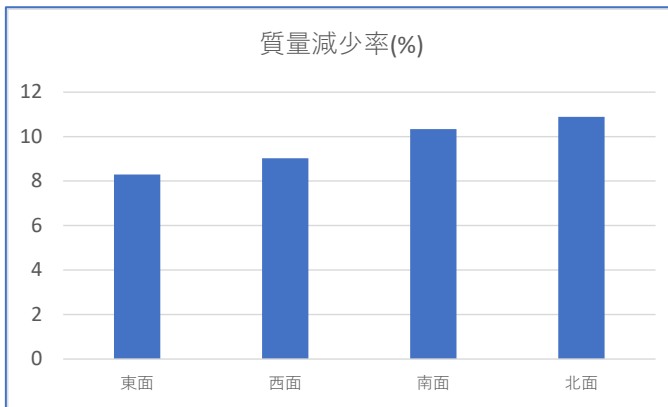


図 26 暴露 12 ヶ月における試験片 A の暴露方位別質量減少率

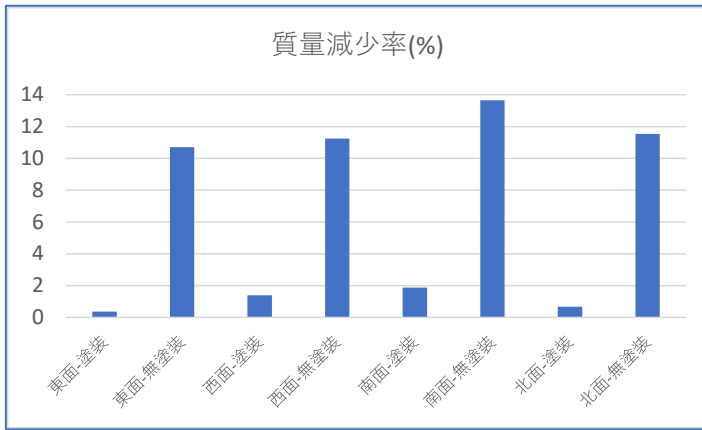


図 27 暴露 12 ヶ月における試験片 B の暴露方位別質量減少率

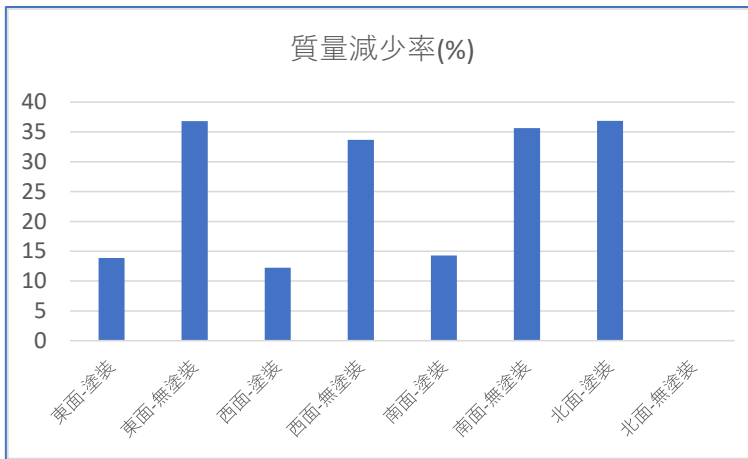


図 28 暴露 12 ヶ月における試験片 C の暴露方位別質量減少率
(北面无塗装は試験中の試験片の破損により欠測)

表 24 2022 年の暴露場の気象データ (気温)

日本大学藤沢キャンパス 2022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			DEP. FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	MAX >=32	MAX <=0	MIN <=0	MIN <=-18		
		MAX	MIN	MEAN													
22	1	9.8	0.5	4.8	0.0	418	0	14.6	9	-3.3	1	0	0	16	0		
22	2	10.6	0.5	5.2	0.0	366	0	18.0	27	-3.2	6	0	0	12	0		
22	3	16.1	6.6	11.3	0.0	220	3	23.0	14	0.3	7	0	0	0	0		
22	4	19.4	11.5	15.3	0.0	105	22	26.7	23	3.3	1	0	0	0	0		
22	5	23.6	16.4	20.0	0.0	11	45	29.2	30	12.8	19	0	0	0	0		
22	6	26.8	19.7	22.8	0.0	8	142	33.9	30	14.7	15	6	0	0	0		
22	7	30.3	24.4	26.9	0.0	0	267	35.3	31	22.1	13	5	0	0	0		
22	8	31.3	24.6	27.5	0.0	0	285	34.9	3	20.1	30	12	0	0	0		
22	9	28.8	21.6	24.8	0.0	0	195	32.2	4	17.2	21	2	0	0	0		
22	10	23.0	16.1	19.3	0.0	20	34	29.8	2	11.6	7	0	0	0	0		
22	11	18.9	10.8	14.9	0.0	35	3	21.7	29	8.6	27	0	0	0	0		
22	12	13.0	3.6	7.8	0.0	325	0	17.2	4	-1.4	20	0	0	1	0		
		21.0	13.0	16.7	0.0	1509	996	35.3	JUL	-3.3	JAN	25	0	29	0		

表 25 2022 年の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 2022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	DATE	.2	2	20	YR	MO	AVG.	HI	DATE	WIND SPEED (m/s)	
															DOM	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	

第3章 成果のまとめと今後の展開

3.1 実施内容のまとめ

公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置き、委員会を組織して事業を推進した。

第1回オンライン委員会を2022年5月12日に開催し、事業目的の確認及び、試験の実施内容と実施機関、試験の時期、試験の仕様等を決定した。参画各社と事務局により5月13日にWEB会議を開催し、各社が製作する試験体についての仕様や納品時期などについて打ち合わせを行った。これに従い、6月から8月にかけて越井木材工業(株)、(株)ザイエンス、兼松サステック(株)、(株)プラセラムのそれぞれにおいて難燃薬剤処理木材の試験材を製作した。試験材の半数は、促進劣化試験（に供し「促進劣化有り」とし、半数は促進劣化試験を行わず「促進劣化無し」とした。

促進劣化試験は建材試験センターにおいて行い試験材の養生後に、(株)ソーケンにおいて、「促進劣化無しと有り」の試験体を試験材から採材し、試験実施機関に送付した。

標準コーン試験及びラージコーン試験は、「促進劣化有り無し」、「無処理スギ」の試験体について、2023年1月に(株)東京システムバックで行なった。

火災伝播試験は、「促進劣と無しと有り」、「無処理スギ」の試験体について、2023年1月に電線総合技術センターで行なった。

屋外暴露試験は日本大学において、昨年度及び一昨年度の事業で設置した暴露試験体の計測を2022年7月と2023年1月に行った。

第2回オンライン委員会を2023年2月7日に開催し、事務局から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、委員からは事業報告書の最終版について、意見がなされ、これを踏まえ事業報告書を完成させることとした。成果報告会はWEB開催となったため発表の画像収録が行われ、2023年3月13日から31日までWEB配信された。本事業は全37課題の中の一つであり、吉岡英樹委員がWEB収録での発表を担当した。成果報告書を印刷・製本し関係各位に配布し、日本木材保存協会のホームページにてPDFで公開する。

3.2 実施結果のまとめ

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、燃えひろ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。同時に、難燃薬剤処理木材はこれまで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の持続性に関する試験としての促進劣化試験を行うことが求められている。

本事業では難燃薬剤処理木材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を行ない、それら試験体について燃えひろがり試験による性能評価を行うことを第一の目的としている。更に、燃えひろがり試験の他に種々の

試験を行い、これらと燃えひろがり試験との相関性を示すことを第一の目的としている。今年度は火炎伝播試験、標準コーン試験、ラージコーン試験を行い、屋外での経年的な難燃性能の変化に関する定量的データを蓄積した。

難燃薬剤試験材は、参画各社（それぞれ試験材試験材 A 試験材 B 試験材 C を担当）毎に、難燃薬剤を加圧注入して製作したものである。注入処理・乾燥後の寸法は、155 mm（幅）×18 mm（厚さ）×1,000 mm（長さ）に仕上げた。なお、試験材 B と試験材 C は、難燃薬剤処理に先立ち防腐・防蟻処理を行った。処理薬剤等の仕様は、試験材 A では、難燃薬剤はリン酸アミノ系、塗料は含浸形アルキド系であった。「促進劣化有り」の試験材の難燃薬剤吸収量の平均値は 125kg/m³、「促進劣化無し」の値は 123kg/m³であった。試験材 B 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。防腐・防蟻剤の吸収量は 9.0kg/m³であり、「促進劣化有り」の難燃薬剤吸収量は 131kg/m³、「促進劣化無し」の値は 130kg/m³(3 kg/m³)であった。試験材 C 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り、防腐・防蟻剤の吸収量は 0.32 kg/m³であり、「促進劣化有り」の難燃薬剤吸収量は 182kg/m³、「促進劣化無し」の値は 181kg/m³ (4 kg/m³) であった。試験材 D では、難燃薬剤はリン・窒素系、塗料は造膜形ウレタン系であり、「促進劣化有り」の難燃薬剤吸収量は 473kg/m³、「促進劣化無し」の値は 472kg/m³であった。塗料の平均塗布量は、試験材 A では 80g/m²、試験材 B では 260g/m²、試験材 C では 210g/m²、試験材 D では 220g/m²であり、塗装面は試験材 A では表面と両端（木口面）の 3 か所、試験材 B、C、D では 6 面全てであった。

屋外での実際の暴露を想定した促進劣化試験は、(一財) 建材試験センターで実施した。劣化サイクルは、規格が定める 180 回で行った。促進劣化終了直後の質量変化率は、試験材 A では 12.4%の増加、試験材 B では 9.7%の増加、試験材 C では 8.8%の増加であったが、試験材 D では 10.3%の減少となっていた。試験材 A、B、C では、試験材の含水率がほぼ恒量に達していたため、散水過程で吸収した水分量が反映したものと考えた。一方、試験材 D では、薬剤注入量が多いことから木材中の水分及び薬剤中の水成分が試験前の養生期間内（2 か月）では抜けきれていなかったと推察され、散水行程での吸水を上回って乾燥過程（照射ランプ）での木材乾燥が進んだと考えた。促進劣化試験終了後から 3 週間の養生期間を経た質量変化率は、試験材 A では 8.2%の減少、試験材 B では 6.2%の減少、試験材 C では 3.9%の減少、試験材 D では 16.7%の減少であった。これらの値は、試験材 A、B、C では促進劣化過程で生じた難燃薬剤の溶脱を反映していると考えた。しかし、試験材 D では水分減少が加算されている可能性もあり、直ちに難燃薬剤減少率とは判断できなかった。

標準コーン試験とラージコーン試験は、(株)東京システムバックにて行った。標準コーン試験は、コーン型ヒータで 10×10 cmの試験体を 50kW/m²で加熱、電気スパークで着火し、燃焼により減少した酸素濃度から発熱量及び発熱速度が計算される。要求性能の具体的な判定基準は、①総発熱量が 8 MJ/m²以下であること、②防火上有害な裏面まで貫通する亀裂・

穴が発生しないこと、③最高発熱速度が 10 秒以上継続して 200 kW/m^2 を超えないことであり、この性能を不燃材料は 20 分間、準不燃材料は 10 分間、難燃材料は 5 分間維持することが必要である。

総発熱量 (MJ/m^2) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 13.1 MJ/m^2 と 25.2 MJ/m^2 、試験体 B では 17.0 MJ/m^2 と 27.4 MJ/m^2 、試験体 C では 10.1 MJ/m^2 と 10.0 MJ/m^2 、試験体 D では 0.9 MJ/m^2 と 5.8 MJ/m^2 であった。「促進劣化有り」では「促進劣化無し」に比べて 20 分後の総発熱量は、総体としては 2 倍弱の傾向であった。試験体 A と試験体 B では、「促進劣化有り」では「促進劣化無し」に比べて総発熱量が増加した。難燃薬剤の吸収量がそれぞれ 124 kg/m^3 、 130 kg/m^3 と少ないため、薬剤溶脱の影響が表れたと考えられる。試験体 C と試験体 D では「促進劣化無しと有り」との明確な違いは認められなかった。薬剤の吸収量がそれぞれ 182 kg/m^3 、 473 kg/m^3 と多いため、薬剤溶脱の影響が顕在化しなかった可能性が考えられる。繰返し数 3 の試験体間での総発熱量の変動は、次に示すラージコーン試験に比較して大きかった。最高発熱速度 (kW/m^2) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 24.7 kW/m^2 と 82.5 kW/m^2 、試験体 B では 175.5 kW/m^2 と 176.9 kW/m^2 、試験体 C では 129.7 kW/m^2 と 109.0 kW/m^2 、試験体 D では 8.2 kW/m^2 と 73.1 W/m^2 であった。

ラージコーン試験における総発熱量 (MJ/m^2) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 10.7 MJ/m^2 と 16.1 MJ/m^2 、試験体 B では 10.1 MJ/m^2 と 13.8 MJ/m^2 、試験体 C では 7.8 MJ/m^2 と 9.1 MJ/m^2 、試験体 D では 1.7 MJ/m^2 と 1.4 MJ/m^2 であった。促進劣化により総発熱量が増加することは、標準コーン試験と同様の傾向であった。「促進劣化有り」では「促進劣化無し」に比べて、20 分後の総発熱量は 1.5 倍弱の傾向であり、標準コーン試験に比べて総体として 2~3 割低かった。ラージコーン試験では、標準コーン試験に比べて繰返し試験体 ($n=3$) 間の数値の変動が小さく安定した結果が得られた。これは、試験体面積が 2.25 倍と大きく、更にダクト排気が 12 L/分 と小さいため、感度が 5 倍向上し (測定誤差精度は 5 分の 1 に改善)、標準コーンよりも製品本来の性質に近い精密な評価が可能であり、外壁材料評価により適していることが示された。最高発熱速度 (kW/m^2) を「促進劣化無しと有り」とで比較すると、試験体 A では平均値で 15.6 kW/m^2 と 49.0 kW/m^2 、試験体 B では 98.1 kW/m^2 と 110.0 kW/m^2 、試験体 C では 78.5 kW/m^2 と 91.0 kW/m^2 、試験体 D では 8.3 kW/m^2 と 2.9 W/m^2 であった。

火炎伝播試験は、(一社)電線総合技術センターで行なった。熱線照射パネルと試験体を 15 度の離隔(右上図)で配置し、分布を持つ熱流束を照射して火炎の横方向への輻射熱流束の分布広がりを測定し、火炎が伝播した距離すなわち消火点における CFE を求め評価した。

試験体 A の「促進劣化無し」では、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 16.8、火炎伝播距離が 410 mm となり、促進劣化試験により薬剤の溶脱が進んだことが推察された。試験体 A では難燃薬剤吸収量が相対的に少ないこと、塗装面が表面と両木口の 3 面であったこと、塗料の塗布量が 80 g/m^2 と他試験体に比べて最も

低かったことが影響したと考えた。試験体 B では「促進劣化無し」では、CFE が 34.9、火炎伝播距離が 270 mm となり、「促進劣化有り」では、CFE が 50.3、火炎伝播距離が 50 mm となり、「促進劣化無し」の性能が「促進劣化有り」に比較して低い結果となって現れた。その理由は不明ではあるが、試験体 B では塗料の塗布量が 260 g/m^2 と他試験体に比べて最も大きかったことが影響した可能性が考えられ、促進劣化試験により可燃性と思われる塗料が劣化・剥離することで、試験体本体の性能が現れたと考えた。試験体 C では、「促進劣化無し」では、CFE が 50.2、火炎伝播距離が 80 mm となり、「促進劣化有り」では CFE が 39.9、火炎伝播距離が 230 mm となり性能は少し低下した。試験体 C でも可燃性と思われる塗料の塗布量は 210 g/m^2 と多いが、難燃薬剤吸収量がそれぞれ 179 kg/m^3 、 177 kg/m^3 と多いことで結果は説明されると考えた。試験体 D では、「促進劣化無し」では、CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm となり、「促進劣化有り」では CFE が 50.0、火炎伝播距離が 0 mm となった。不燃木材を想定しており難燃薬剤吸収量が 473 kg/m^3 と極めて多いため、「促進劣化無しと有り」共に CFE は 50.0 であった。「促進劣化無し」では、試験体 A、C、D では CFE は 50 と判定された。「促進劣化有り」の試験体では、CFE は試験体 $D > B \cdot C > A$ となり、コーン試験の総発熱量と概ね相関していることが分かった。

難燃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により経時的な木材表面変色・白華の測定、難燃薬剤の溶脱等による質量減少率の測定を行なった。

2020 年度事業で暴露試験を開始した、塗装された難燃処理試験片の耐候性評価について示す。垂直暴露 28 ヶ月後では、難燃薬剤注入処理材では塗料顔料が残存しているが、薬剤注入されていない試験材では含浸形塗料の顔料はほぼ消失していたことから、リン酸系薬剤の塗装耐候性向上効果が認められた。無塗装試験片は薬剤注入の有無に関係無く全て灰色化していた。難燃処理した試験片については、暴露 28 ヶ月では薬剤の溶脱による白華現象は見られなかった。また、北面に暴露した薬剤処理試験片では下部に緑色の藻類の発生がみられ、難燃薬剤中に含まれるリン成分の影響と考えた。暴露 28 ヶ月後の暴露試験片の色差 (ΔE^*) は、薬剤処理の有無では薬剤処理した試験片は塗装材及び無塗装材共に小さい傾向を示した。暴露方位の違いでは難燃処理+塗装材では変色は東面>西面>北面>>南面の順に大きい傾向を示し、難燃処理+無塗装材では東面=西面=南面>>北面となった。難燃処理無し+塗装材では色差は西面>南面>東面>北面となり、無塗装材では難燃処理材と同様に東面=西面=南面>北面となった。暴露 28 ヶ月後に至る 4 面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 ヶ月後の塗装有り 4.1%、塗装無し 5.1%、暴露 28 ヶ月後の、塗装有り 5.0%、塗装無し 6.3%となり、暴露期間と共に増加する傾向が継続した。暴露 28 ヶ月後の暴露方位では、難燃薬剤処理試験材は、塗装有りで南面 5.1%、北面 4.9%、西面 4.6%、東面 4.6%、塗装無しで西面 6.5%、南面 6.5%、東面 6.2%、北面 6.0%であり、西面あるいは南面の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。

2021 年度事業で暴露試験を開始した、難燃薬剤の種類、塗装処理の違いによる薬剤溶脱性の暴露 12 ヶ月後の結果を示す。試験片 I は薬剤(リン酸アミノ系、平均処理量 124kg/m³) 処理を行い、塗装の有無(含浸形アルキド樹脂塗料、表面及び側面塗装、平均塗布量 80g/m²) で試験を行っており、塗装無し試験片の暴露 1 年後の質量減少率は 8%~11%、試験片 II は薬剤(リン・窒素系、平均処理量 130kg/m³) 処理を行い、塗装の有無(造膜形ウレタン系、全面塗装、平均塗布量 260g/m²) で試験を行っており、塗装無し試験片の暴露 1 年後の質量減少率は 10%~14%、試験片 III は薬剤(ホウ酸・リン酸アンモニウム系、平均処理量 182kg/m³) 処理を行い、塗装の有無(造膜形ウレタン系、全面塗装、平均塗布量 210g/m²) で試験を行っており、塗装無し試験片の暴露 1 年後の質量減少率は 32%~37%であった。質量減少率は試験片 I や II と比較して 3 倍以上大きい値を示し、塗装材でも質量減少率は 10%を超えていた。試験片 III では、透明造膜塗装が劣化して薬剤の溶脱に繋がったと考えられた。

3.3 今後の展開

本事業では難燃薬剤処理木材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を行ない、それら試験体について燃えひろがり試験を行うことを基本として、種々の試験を行っている。難燃薬剤処理したスギ製材では、屋外で 3 年間暴露させた試験体と促進劣化試験を行った試験体について、それぞれ燃えひろがり試験を行なった結果、難燃性能は、少なくとも 3 年間持続することを確認した。しかし、燃えひろがり試験を行った試験体数は数体と少なく、難燃薬剤処理木材の屋外利用での信頼性を高めるためには、更なるデータの蓄積が必要である。そのため、次年度には薬剤吸収量と塗装方法を変えた難燃薬剤処理木材の燃えひろがり試験を実施し、データを蓄積する必要がある。

燃えひろがり試験では、面積 7.5 m²の試験体が必要となるため、促進劣化試験を経た試験体(1 回の試験で 4 m²の試験体が得られる)を用いる場合、1 回の試験を行うために促進劣化試験を 2 回行う必要がある。燃えひろがり試験のための促進劣化試験の費用と試験期間を考えると、燃えひろがり試験を補完する試験方法を見出すことが望まれる。これ迄に実施した、SBI 試験(EN13823)、火炎伝播試験、標準コーン試験、ラージコーン試験に加え、更に多様な試験を実施しその可能性を探る必要があろう。

建築用の塗料や仕上げ塗材などでは、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いるが、促進劣化試験では、面積的な困難性から紫外線の作用が組み入れられていないので、紫外線劣化を組み入れた試験方法での検証も望まれる。

更に、外構材として利用される樹種はスギ以外にも多く想定され、それぞれの樹種における難燃薬剤処理木材の難燃性能も確認することが望まれる。

木材が外構材として利用される場合、方角(東西南北)別に劣化状況は異なることが知ら

れているため、日本大学藤沢キャンパスにおいて難燃薬剤処理木材を方角別暴露している試験体について、その難燃性能を長期にわたって確認していくことも必要である。

更に、防腐・防蟻処理を行った木材に難燃薬剤処理を付加する技術を確立することが出来たので、より長期間にわたる防腐・防蟻性能と難燃性能の持続性も確認する必要がある。

以上の様々な試験を進め、データを蓄積して難燃薬剤処理木材の外構材としての利用拡大に寄与することが重要である。

参考文献

- 1) 国土交通省：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、<https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/mokuzou.mokusoku.html> (参照 2023.1.9).
- 2) 林野庁：森林・林業基本計画、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/> (参照 2023.1.9) .
- 3 林野庁：森林×SDGs
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/SDGs_shinrin.html) (参照 2023.1.9) .
- 4) 日本産業規格：建築ファサードの燃えひろがり試験方法、JIS A 1310 : 2015、日本規格協会.
- 5) 齋藤周逸、信田聡：日本各地における木材の気候値平衡含水率、森林総合研究所研究報告、16 (3) (No.443)、163 - 211 (2017) .
- 6) 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.
- 7) 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).
- 8) 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.
- 9) 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).
- 10) 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).
- 11) 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) .
- 12) ISO 5660-1:2015: Reaction-to-fire tests - Heat release, smoke production and mass

loss rate - Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method) and smoke production rate (dynamic measurement).

13) ISO/TS 5660-4:2016: Reaction-to-fire tests — Heat release, smoke production and mass loss rate — Part 4: Measurement of low levels of heat release.

14) 菊地伸一：新しくなった防火試験方法 -性能規定、国際化への対応-、林産試だより、2001年1月号（2001）。

15) 兼松学：外装用難燃処理木材の燃えひろがり試験とその耐久性、第40回木材保存講座兼2022年度木材保存士登録更新講習テキスト、日本木材保存協会編、65頁（2022）。

16) Hayakawa T., Yoshioka H., Yoshida K., Noguchi T., “Combustion pyrogenic test of gypsum board by large cone calorimeter” pp 171-172, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting of the Architectural Institute of Japan, September 2014 (in Japanese).

17) ISO 5658-2:2006: Reaction to fire tests — Spread of flame — Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.

18) 森林総合研究所監修：木材工業ハンドブック、2.4 木材の強度的性質、133-138、丸善（2004）。

19) 小畑良洋：木材の物理(日本木材学会編)、第4章熱と木材、208頁、文英堂出版（2007）。

令和4年度林野庁委託事業

令和4年度 木材製品の消費拡大対策のうち
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

難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための
屋外耐久性向上技術の開発及び難燃性能の統合的評価

2023年（令和5年）2月

公益社団法人 日本木材保存協会