

令和4年度 木材製品の消費拡大対策および国内森林資源活用・
建築用木材供給力強化対策事業のうち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および
難燃性能の統合的継続評価と相関性の確認

事業報告書

2024年(令和6年)2月

公益社団法人 日本木材保存協会

目次

はじめに	1
第 1 章 事業の概要	2
1.1 事業の背景事業の背景と事業の進め方	2
1.2 事業の目的	3
1.3 事業の実施体制	4
1.4 事業の経過	6
第 2 章 試験の方法と結果	8
2.1 各種試験の概要	8
2.2 促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019)	10
2.2.1 試験の概要と目的	10
2.2.2 促進劣化試験 試験材の作製	11
2.2.3 促進劣化試験 試験体と試験方法	12
2.2.4 促進劣化試験 試験結果	12
2.3 建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019 を準用)	15
2.3.1 試験の概要と目的	15
2.3.2 ファサード試験 試験体	16
2.3.3 ファサード試験 試験装置と試験方法	17
2.3.4 ファサード試験 試験結果	18
2.4 火炎伝播試験 (ISO5658-2)	22
2.4.1 試験の概要と目的	22
2.4.2 火炎伝播試験 試験体	23
2.4.3 火炎伝播試験 試験結果	24
2.5 低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4)	26
2.5.1 試験の概要と目的	26
2.5.2 ラージコーン試験 試験体	26
2.5.3 ラージコーン試験 試験結果	28
2.6 ファサード試験結果と小型の燃焼試験との関係	29
2.7 難燃処理試験体の屋外暴露試験 (木材表面の経年的変化)	31
2.7.1 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	31
2.7.2 屋外暴露架台での木材表面変色・白華の経時的試験	31
2.7.3 暴露試験片と暴露方法	31
2.7.4 暴露結果	32

2.8 紫外線劣化を加味した促進劣化試験 (EN927-6)	49
2.8.1 試験の概要と目的	49
2.8.2 試験体・試験方法	50
第3章 成果のまとめと今後の展開	51
3.1 実施内容のまとめ	51
3.2 実施結果のまとめ	52
3.3 今後の展開	53
参考文献	54

はじめに

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材、とりわけ国産材の利用促進が積極的に進められておりますが、今後、より一層需要を拡大していくためには、非住宅建築物や外構材への利用の推進が大切になってまいります。

その方策の一つとして、木材に難燃薬剤を注入処理して防火性を付与することが行われていますが、従来は難燃処理木材の用途は室内に限られているのが現状であります。屋外での利用においては、水溶性である難燃薬剤が徐々に消失していくことが懸念されることから、長期にわたる耐候性を考慮した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処理木材の経年的な難燃性能の変化を評価し、火災安全上の観点から屋外で長期間使用しても一定以上の性能が維持されることを目指し、外構材料への木材の利用推進を図ることを目的としています。

初年度の事業では、難燃処理木材を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）により評価し、難燃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。

次年度の事業では、防腐・防蟻性能を付加した難燃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、促進劣化を受けても性能は維持されることを把握しました。さらに、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。

昨年度の事業では、難燃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、小型試験体においても促進劣化および燃焼試験にて適切に防火性能を評価できる可能性を見出しました。

今年度はこれらの成果を踏まえ、比較的大型の試験体を用いる JIS A 1326 および JIS A 1310 の結果と小型試験体を用いた結果の相関性をより多くの試料にて明確化することを目標としました。また、実火災に近い状況での延焼性との関係性を整備していく必要があるため、今年度においても小型の燃焼試験に加え燃えひろがり試験（JIS A 1310）による評価も実施しました。これらにより、難燃薬剤で処理した木材の外構用途での性能評価法の整備に繋がる成果が得られたものと考えています。

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6年2月29日
事業委員長 京都大学名誉教授 今村祐嗣

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、激しいファサード（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サ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）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、ファサード試験）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）、着火性試験（ISO 11925-2）、火災伝播試験（ISO 5658-2）、標準コーンカロリメーター試験（ISO5660-1 準拠）、ラージコーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠）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。今年度はファサード試験と小型の燃焼試験との対応を整備することに主眼を置き、促進劣化後の試験体に対するファサード試験およびそれらに対する火災伝播試験（ISO 5658-2）、ラージコーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠）を行った。

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。木質材料の需要拡大には、非住宅建築物や外構材への利用拡大を図ることが必須である。それには類焼や上階延焼などが生じぬよう配慮が必要であり、難燃処理木材の使用はその主要な解決法となる。ただし、その難燃処理木材は屋外で長期間使用しても一定以上の難燃性能が維持されなければならない。

このような屋外使用による性能低下を短期間で検証する方法として、これまでに JIS A 1326⁴⁾および JIS A 1310⁵⁾ による方法が確立されている。まずはこれによる製品評価体制の確立が一つの目標となるが、将来的にはより少量の試験体に対する促進劣化および燃焼試験にて適切に劣化後の防火性能を評価する方法を確立したい。

昨年度、小型の燃焼試験法として火炎伝播試験（ISO 5658-2⁶⁾）等を見出したが、試験体数は少なく、試験体数を増やして、その相関性に間違いがないことを確認していく。また、これらでの試験結果と、実火災に近い状況での延焼性との関係性を整備していく必要があるため、今年度は小型の燃焼試験に加え建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）による評価も実施する。これらにより、難燃薬剤処理木材の耐候性の評価手法を整備することで適切に性能を評価した実製品の流通に繋げ、外構材としての木材利用拡大を図ることを目的とする。

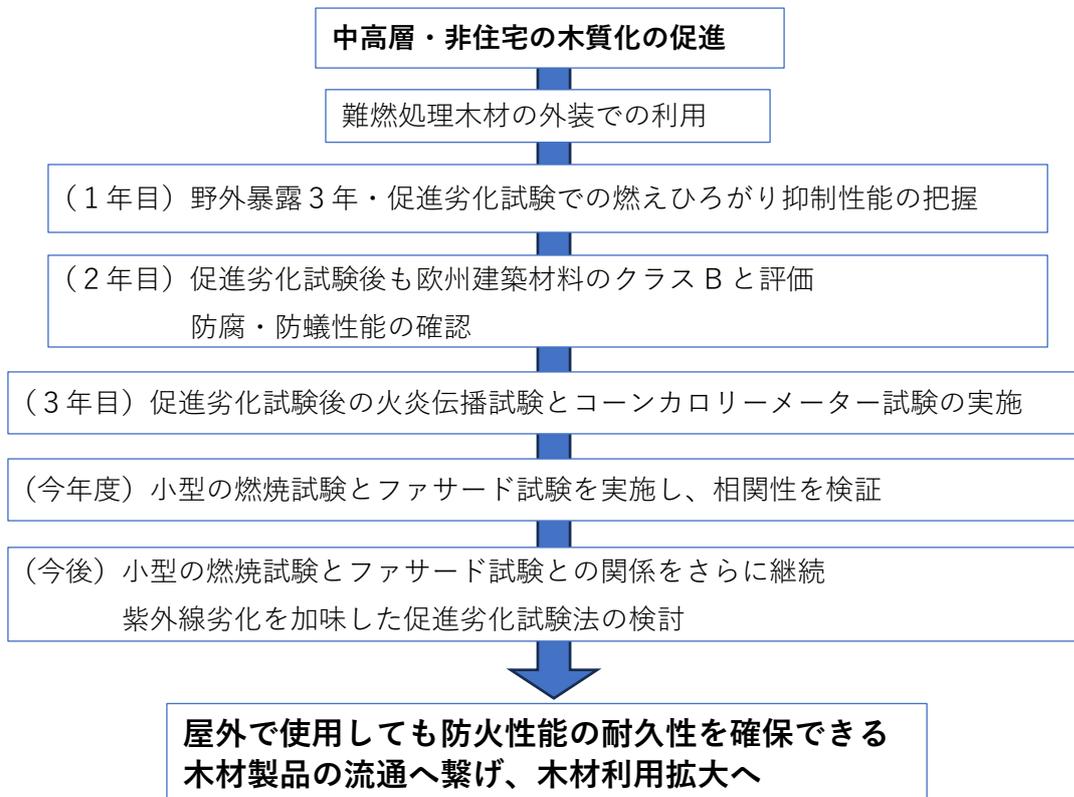


図 1-1 本事業の目的と今後の工程

1.3 事業の実施体制

令和3年度補正事業に続き、公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置き、今村祐嗣氏を委員長とし、表 1-1 の参画者で事業委員会を形成し事業を推進した。また、同協会内に部会を組織し（表 1-2）、本事業で実施する試験結果について検討し、委員会へ報告した。

表 1-1 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（主査）	上川大輔	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
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 参事
	藤井義久	京都大学 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
	西尾悠平	国立研究開発法人 建築研究所
	高瀬棕	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
	山本幸一	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
	佐野正洋	一般社団法人 電線総合技術センター
	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	片桐芳男、鈴木昭、 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 1-2 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研究・整備機構 森林総合研究所
	高瀬 暲	国立研究開発法人森林研究・整備機構 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
	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
	五十嵐盟	兼松サステック(株)
	茂山知己	(株)ザイエンス
事務局	片桐芳男、鈴木昭、 小林理恵	公益社団法人日本木材保存協会

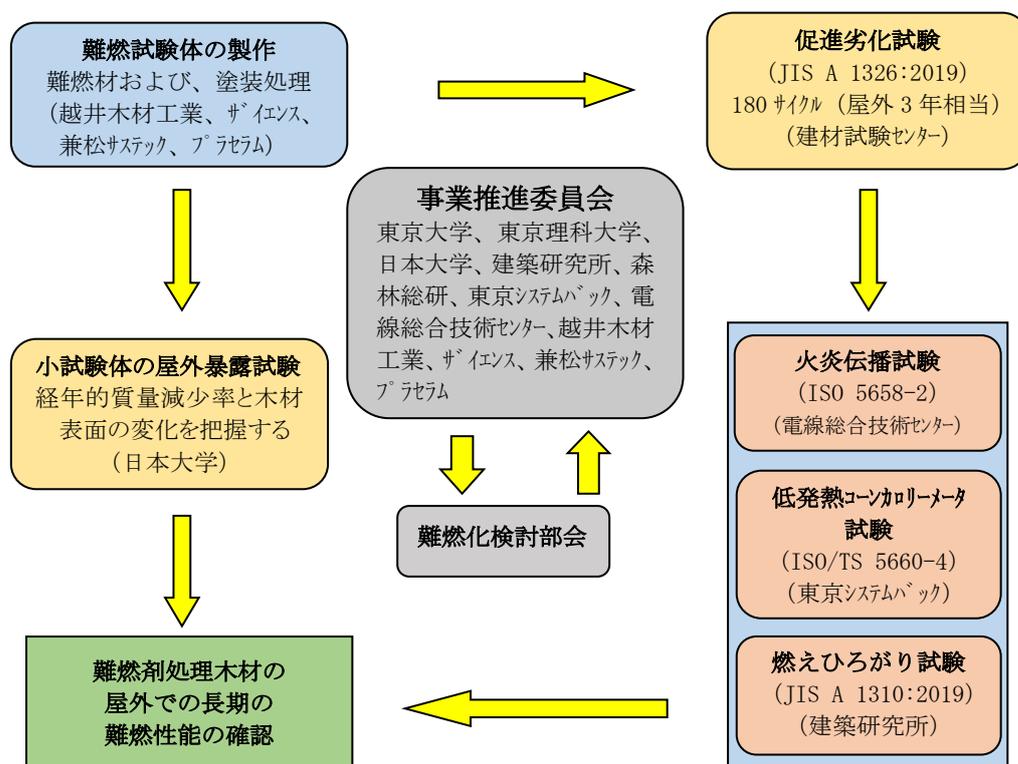


図 1-2 事業における各種試験の実行と関連

難燃薬剤処理試験体の作製は、委員会での仕様にに基づき、(株)プラセラム、越井木材工業(株)、兼松サステック(株)、(株)ザイエンスで行った。

難燃薬剤処理木材の屋外での経年的評価に関しては、促進劣化試験 (JIS A 1326:2019) は建材試験センター (委託試験)、屋外暴露試験は日本大学で試験を行った。

難燃性能の評価に関しては、火炎伝播試験 (ISO 5658-2) は電線総合技術センター (委託試験)、低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4⁷⁾) は東京システムバック、燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019) は建築研究所で行った。

難燃薬剤処理試験体の仕様や試験結果の解析に関する検討は及び結果の取り纏めは、事業推進委員会において行った。(図 1-2)

1.4 事業の経過

事業採択後より成果報告書の完成・提出までの事業の経過を示す。令和 5 年 4 月 20 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。請負期間は、令和 5 年 4 月 20 日より令和 6 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 回部会 (2023 年 5 月 8 日、対面とオンライン会議)

委員会に向け、事前に部会にて事業内容、方法、実施機関、時期等の概要を検討した。

2. 第 1 回委員会 (2023 年 6 月 8 日、対面とオンライン会議)

事業の目的の確認および試験の実施内容、実施機関、時期、経費等の概要を決定した。

3. 試験体作製に係る委員 (※) による打合せ (2023 年 6 月 15 日 17:00~19:00 対面にて開催) 各種試験に供する試験体の作製等を確認した。

4. 各種試験の実施

・促進劣化試験 (JIS A 1326:2019)

(一財) 建材試験センター中央試験所にて、難燃処理した試験材料 (1 種) について促進劣化による薬剤溶脱状況の確認および各燃焼試験用の劣化後試験体の作製を目的に、JIS A 1326:2019 による促進劣化試験を実施した (実施期間 8 月 28 日~12 月 20 日 (2 セット分))。

・紫外線劣化を加味した促進劣化試験

森林総合研究所にて、試験方法を検証するために難燃処理木材 (4 種) を対象に試験を開始した (10 月~)。

・屋外暴露試験

日本大学にて、2020 年度より屋外暴露試験に供していた試験体を回収し、重量等を計測。2021 年度より開始していた屋外暴露のグループに 1 種追加した (10 月)。

・建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019)

(国研) 建築研究所にて、促進劣化試験 (JIS A 1326:2019) 後の難燃処理木材 (2 種) について、その燃えひろがり性状を確認するため実施した (12 月 20・21 日)。

- ・火炎伝播試験 (ISO5658-2)
 (一社) 電線総合技術センター (JECTEC) にて、促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019) 後の難燃処理木材 (3 種) および低濃度難燃処理木材 (1 種) について実施した (12 月 25 日)。
 - ・低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO5660-4)
 (株) 東京システムバックにて、促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019) 後の難燃処理木材 (1 種) および低濃度難燃処理木材 (1 種) について実施した (12 月 26 日)。
5. 委員会幹部打合せ (2024 年 1 月 17 日 10:00~12:00 オンラインにて開催)
 事業成果の概要を確認した。
 6. 第 2 回委員会(予定) (2024 年 2 月 7 日、対面とオンライン会議)
 事業の実施状況および各試験の結果を確認し、課題の抽出、今後の研究方針などについて討議した。事業報告書の作成に向け必要な作業を確認した。
- #### 7. 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 2024 年 3 月 11 日より 4 月 1 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、上川大輔主査が 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。
- #### 8. 事業報告書
- 2024 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 各種試験の概要

第1章にて述べたように、本事業では難燃薬剤処理木材を屋外使用した場合の防火性能に関し、その経年劣化、特に難燃薬剤の雨水による溶脱に伴う防火性能の低下に対する耐久性を合理的かつ短期間で評価する方法、および、このような耐久性を向上させる技術を研究対象としている。本年度の事業では以下のことを目的としている。

- ・火炎伝播試験 (ISO 5658-2) 等の小型の燃焼試験法について、試験体数を増やし、その相関性に間違いがないことを確認していく。
- ・建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310) による評価を実施し、小型燃焼試験での結果との関係性を整備する。

またこの他に、各種難燃薬剤処理木材の屋外使用時の耐久性の解明を目的として本年度以前の事業より継続して実施している屋外暴露試験のほか、主として紫外線による劣化が防火性能の低下に大きな影響を及ぼすと思われる製品に対する促進劣化試験方法を検証する目的として紫外線を照射する機能を持つ耐候性試験機による試験も実施している。以下に、これら本年度実施した試験とその目的を、更に表 2.1-1 に試験体の概要を示す。

なお、本報告では、各種促進劣化試験、燃焼試験などにおいて、試験に供する状態とした試験対象を“**試験体**”と称し、その元となるひき板や難燃薬剤処理材を“**試験材**”と称することとする。例えば、JIS A 1326 の促進劣化試験に供するために板状の難燃薬剤処理試験材を約 2m×2m の壁状に組付けたものは“促進劣化試験用試験体”、それを解体した促進劣化後の板材各個は“促進劣化後試験材”、それら試験材を JIS A 1310 ファサード試験用として切断・再配置して組み立てたものは“ファサード試験用試験体”、などのように記述する。

本年度取り組んだ各種試験と目的

1) 促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019)

目的：各種難燃処理木材の耐候性の検証および劣化後の各種燃焼試験用の試験材の作製

2) 建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310 : 2019 を準用)

目的：劣化後の難燃薬剤処理材の、実火災に近い状況での燃えひろがり性状の把握

3) 火炎伝播試験 (ISO5658-2)

目的：劣化後の難燃薬剤処理材の、小型試験体による燃えひろがり性状の把握

4) 低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4)

目的：劣化後の難燃薬剤処理材の、小型試験体による燃焼性状の把握

5) 屋外暴露試験

目的：各種難燃薬剤処理木材の屋外使用時の耐久性の解明

6) 紫外線劣化を加味した促進劣化試験

目的：塗膜等により耐候性を確保した難燃薬剤処理木材の促進劣化試験法の検証

表 2.1-1 各試験での試験体仕様

試験	No.	薬剤量 [kg/m ³]	薬剤	塗装	備考
促進劣化 (JIS A 1326)	I	182.5	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	
	II	139.2	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	
ファサード試験 (JIS A 1310)	I'	152.4	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
	II'	108.3	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
火炎伝播試験	I'-V	152.9	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-V	106.0	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-H	125.8	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	横張り、促進劣化後
	III-V	50.7	リン酸アミノ系	オイルステイン系	縦張り、低濃度薬剤注入
低発熱コーン カロリメーター 試験	II'	125.8	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
	III	50.9	リン酸アミノ系	オイルステイン系	低濃度薬剤注入

注) 試験体 No.のダッシュ「'」は、ダッシュのないものの促進劣化後の試験材を表している。
火炎伝播試験の試験体の「-V」は縦張り、「-H」は横張りを表している。

2.2 促進劣化試験 (JIS A 1326 : 2019)

2.2.1 試験の概要と目的

本事業では、屋外使用した場合の難燃処理木材の経年劣化を、屋外暴露より短い時間で評価するための促進劣化の方法として JIS A 1326 の促進劣化試験方法⁴⁾ に準拠した方法を取り上げ、各種難燃処理木材の耐候性の検証とともに、劣化後の各種燃焼試験用の試験材の作製を目的として同試験法による促進劣化を実施した。

JIS A 1326 に規定される促進劣化試験は、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の、風雨にさらされる等の経年劣化による防火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 2.2-1) (表 2.2-1)。本試験方法は、散水と赤外線照射の繰返しにより促進劣化させる試験で、乾燥過程 1.5 時間と散水過程 2.0 時間とで 1 サイクルとし、これを 180 回繰り返すものである。乾燥過程では試験体の試験面の表面温度を $80 \pm 3^{\circ}\text{C}$ に 45 分間以上保ち、散水過程では、加熱装置を停止させ、散水を $1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$ で行うこととされている。なお、規格で規定しているサイクル 180 回は千葉県内陸部

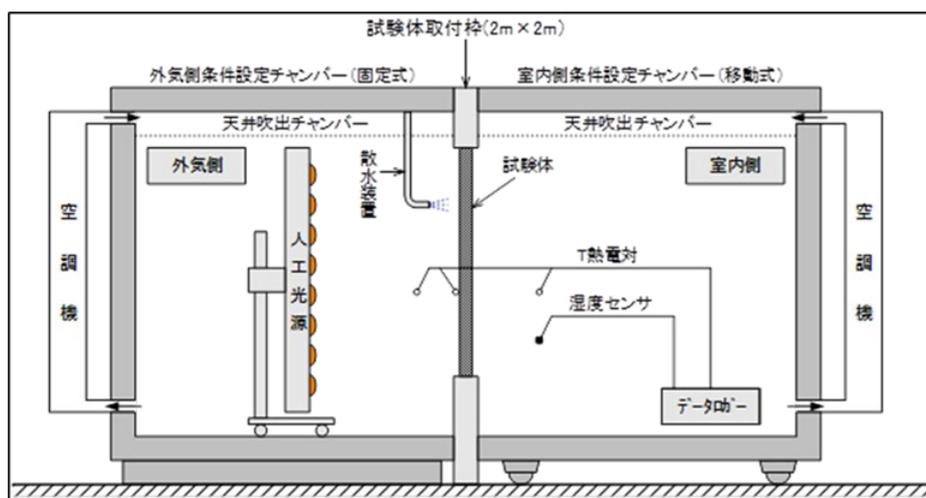


図 2.2-1 促進劣化試験装置の概要

表 2.2-1 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。

での屋外暴露の約3年相当であることが既に報告⁸⁾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⁹⁾。

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ひろがり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となっている。本事業では、以上の点や、塗装により溶脱がかなり抑えられるとの報告があること¹⁰⁻¹²⁾は承知しながらも、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、これまでの検証では塗装された試験材でもある程度の溶脱がみられ、紫外線のある場合と劣化・溶脱の機構が異なるとしても塗膜を持つ試験体の促進劣化方法として有用である可能性もあり、将来的にこの点も検証することを考慮したものである。

2.2.2 試験材の作製

今年度、各種燃焼試験に供する難燃薬剤試験材IおよびIIは、事業に参画している難燃薬剤処理木材メーカーのうちの2社によりそれぞれ作製した。いずれの試験材も、注入処理・乾燥後の断面寸法は120mm(幅)×18mm(厚さ)とし、試験材Iについては、長さ約1,000mmにて、試験材IIについては長さ約2,000mmにて難燃薬剤処理した。なお、試験材Iについては、2022年度事業内にて作製したものである。また、試験材IIについては、一部の試験材を火炎伝播試験および低発熱コーンカロリメーター試験用として注入処理・乾燥後の断面寸法を155mm(幅)×18mm(厚さ)とした。難燃薬剤処理は減圧加圧法にて実施し、難燃薬剤処理後は一定期間の養生ののち、仕上げ寸法に切削、塗装を施した。難燃処理薬剤及び塗装処理についての仕様を表2.2.2に示す。処理薬剤等の仕様は試験材Iでは、難燃薬剤はホウ酸・リン酸アンモニウム系、塗料は造膜型ウレタン系であった。難燃薬剤吸収量の平均値は182.5kg/m³であった。試験材II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った。難燃薬剤吸収量の平均値は139.2kg/m³であった。なお、塗料の平均塗布量は試験材Iでは、210g/m²、試験材IIでは240g/m²であり、塗装面は木口以外の4面であった。

表 2.2-2 各試験材の仕様

試験材	難燃薬剤名	塗装処理	塗装塗布量 (g/m ²)	難燃剤吸収量 (kg/m ³)
I	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	造膜形ウレタン系	4面・210	182.5
II	リン・窒素系	造膜形ウレタン系	4面・240	139.2

2.2.3 試験体と試験方法

試験は（一財）建材試験センター中央試験所にて実施した。試験材は、約 2m×2m の試験材固定用木枠に横張りで固定した。試験体 I については、長さ 1,000mm×幅 120mm×厚さ 18mm の試験材を左右 16 枚ずつ組付けたもの、試験体 II については長さ 2,000mm×幅 120mm×厚さ 18mm の試験材を 16 枚組付けたもの（上下中央の試験材のみ幅 155mm）を 2 セットずつ作製した。試験体 I の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。

試験体は既定の養生期間ののち、JIS A 1326 に従って乾燥過程（試験面の表面温度を $80 \pm 3 \text{ } ^\circ\text{C}$ に 45 分間以上）1.5 時間と散水過程（温度は成り行き、散水量： $1 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{min})$) 2.0 時間からなるサイクルを 180 回繰り返した。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 2.2-1）。



写真 2.2-1 促進劣化試験の状況と温度測定位置（試験体 II）

2.2.4 試験結果

図 2.2-2 に、試験材 II の外気側表面温度、外気温度および室内温湿度を連続して測定した結果例を示す。試験材の外気側表面温度は、乾燥過程開始からおよそ 30 分で 80°C に達し、約 1 時間、 80°C に維持されている。この時の外気側空気温度は 37°C 前後となっている。散水過程に入ると試験材表面温度は急速に低下し、およそ 1 時間で 17°C 程度となっている。この時の外気側空気温度は試験材表面温度とほぼ一致している。室内側空気温度は、全サイクルを通してほぼ 20°C に保たれている。

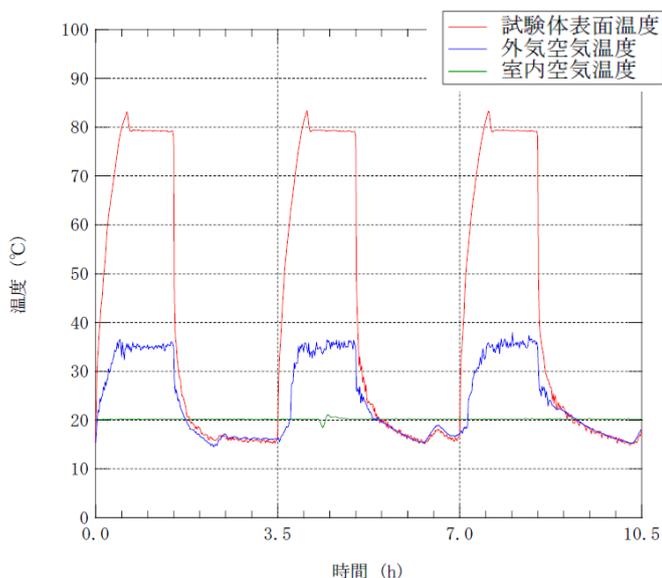


図 2.2-2 試験片外気側表面温度、室内外空気温度測定結果（1～3 サイクル、試験体 I）

表 2.2-3 促進劣化試験前後の変化

試験材	初期 薬剂量 (kg/m ³)	劣化前 平均重量 (g)	劣化後 平均重量 (g)	重量 減少率 (%)	推定残存 薬剂量 (kg/m ³)	薬剤 溶脱率 (%)	養生後 含水率 (%)
I	182.5	1124.1	1036.4 ^{※2}	7.8	152.5	16.4	11.3
II	139.2	2466.9 ^{※1}	2297.1 ^{※1}	5.4	108.3	22.2	8.7

表 2.2-3 に試験体 I および試験体 II の促進劣化試験前後の変化に関する結果を示す。いずれも 2 回の促進劣化試験での各試験材の平均値であるが、試験材 II の平均重量は幅 155mm のラミナ以外のものの平均を記載している。試験材 I の劣化後平均重量（表中※1）は、昨年度の促進劣化試験後約 1 年、室内保存した後の重量、試験材 II の劣化後平均重量（表中※2）は 1 体目 16 日間、2 体目 13 日間の養生（20℃・相対湿度 60%）の後の重量である。ちなみに、各試験材の、20℃・相対湿度 60%での平衡含水率を一部の試験材を用いて計測したところ、試験材 I で 9.4%、試験材 II で 7.1%であった。また、試験材 I については、促進劣化直前の含水率が不明であったため、薬剤溶脱量の計算においては促進劣化前の含水率を劣化後と同じ 11.3%と仮定して計算した。

促進劣化前後の重量減少率（劣化前重量ベース）は、試験材 I で 7.8%、試験材 II で 5.4%となった。推定された残存薬剂量は試験材 I で 152.5kg/m³、試験材 II で 108.3kg/m³、薬剤溶脱率はそれぞれ 16.4%、22.2%であり、難燃薬剤の量としては未だ難燃材料以上の性能が期待される程度残存していることが明らかとなった。

促進劣化試験後の外観の目視観察の結果を表 2.2-4 に、促進劣化試験前後の各試験材の外観写真の例を写真 2.2-2、写真 2.2-3 に示す。促進劣化試験直後の試験材の外観目視観察では、ひび割れ、剥離はいずれも観察されず、溶出物質の有無については、試験材 I の 2 回目の試験材で一部薬剤と思われる溶出物が見られ、試験材 II では溶出物質無しと判定された。

表 2.2-4 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 I		試験材 II	
	1 回目	2 回目	1 回目	2 回目
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	無	無
変色・退色などの状況	写真 2.2-2		写真 2.2-3	



促進劣化試験前



促進劣化試験後

写真 2.2-2 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材 I 外気側より撮影）



促進劣化試験前



促進劣化試験後

写真 2.2-3 促進劣化試験前後の試験材外観（試験材 II 外気側より撮影）

2.3 建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019 を準用)

2.3.1 試験の概要と目的

JIS A 1310:2019 に規定される建築ファサードの燃えひろがり試験は、建築物の外壁が開口噴出火炎により加熱された際の建築ファサードの燃えひろがり測定するものである。試験対象は建築ファサード、即ち建築物の外壁躯体より外側に位置する部分であり、その燃えひろがり温度および熱流束の測定、目視観測により把握する。なお、外壁の非損傷性、遮熱性および遮炎性については評価対象外である。

本試験装置は、開口の空いた外壁部分（試験対象の材料で仕上げたもの）と開口に接続する燃焼チャンバー（燃焼区画）で構成され、燃焼区画内のバーナーへの LP ガス供給により人工的に開口噴出火炎を形成させ試験対象部分を加熱する。装置サイズから基本的に実際の壁の収まりを試験対象とすることが可能であり、加熱強度やその分布なども実火災に近い状況と



写真 2.3-1 ファサード試験装置外観
(試験体 I')

なることから、現状で外壁の燃えひろがり性状を最も適切に評価できる試験方法の一つといえる。ただし、実火災での噴出火炎は開口面積や可燃物量などにより様々であり、本試験での計測値そのものが実火災での値と一致するものでは無いことは認識しておく必要がある。本試験は、建築ファサードが建築物外壁の上階延焼等を助長するか否か、するとしてその相対的な程度はどのくらいか、を実際の収まりを用いて工学的に把握するもの、という位置づけと考えている。

以上のように、本ファサード試験は現状で一般的に利用できる各種燃焼試験法の中で最も実火災での燃えひろがり性状が結果に反映されるものといえるため、本事業における各種試験体の燃えひろがり性状に関する計測結果の相関関係等を検証する上では、本試験方法で把握された試験体間の順位付け等が最も実火災に近いものとして扱う。ただし、計測し得る各種データのうち、どれを比較等に用いるのが適切か、についてはまだ検証の余地があるかも知れない。

今年度の本事業においては、前項において JIS A 1326 に準拠して促進劣化させた試験材の燃えひろがり性状の把握を目的とし、2 仕様の試験材について試験を実施した。なお、JIS A 1326 の記述には、促進劣化させたものと劣化のないものそれぞれをファサード試験に供す旨が書かれているが、本年度事業においては促進劣化後の試験体のみ試験対象とした。また、養生期間やファサード試験体下部の試験材省略等、一部において JIS A 1310 と異なる

点がある。

2.3.2 ファサード試験 試験体

試験体は、外寸、高さ 4,095 mm×幅 1,820 mm の鋼製枠の上に、JIS A 5430 に規定する 0.8 けい酸カルシウム板（厚さ 12mm×2 層）を基板として張り、厚さ 15mm の胴縁（無処理スギ）を固定したうえで、開口以外の部分に 2.2 章に記述した JIS A 1326 に準拠した促進劣化試験後の試験材を釘留めして作製した（写真 2.3-2、図 2.3-1）。開口部は内寸 910mm×910mm である。胴縁は両端および中央のものは幅 90mm、それらの中間のものは幅 45mm とし、基板と試験材との間に厚さ 15mm の通気層のある構成とした。開口の上部および下部での、基板と試験材の隙間はロックルールブランケットにより塞いだ。試験体は最外層が試験材 I' のもの（試験体 I'）、II' のもの（試験体 II'）それぞれ 1 体ずつ作製し、試験に供した。それぞれの試験材仕様を以下に示す。

試験体 I' - 薬剤：ホウ酸・リン酸アンモニウム系（推定 152.4 kg/m³）

塗装：造膜形ウレタン系

試験体 II' - 薬剤：リン・窒素系（推定 108.3 kg/m³）

塗装：造膜形ウレタン系



写真 2.3-2

ファサード試験試験体（試験体 I'）

（上：試験材配置前、下：完成後）

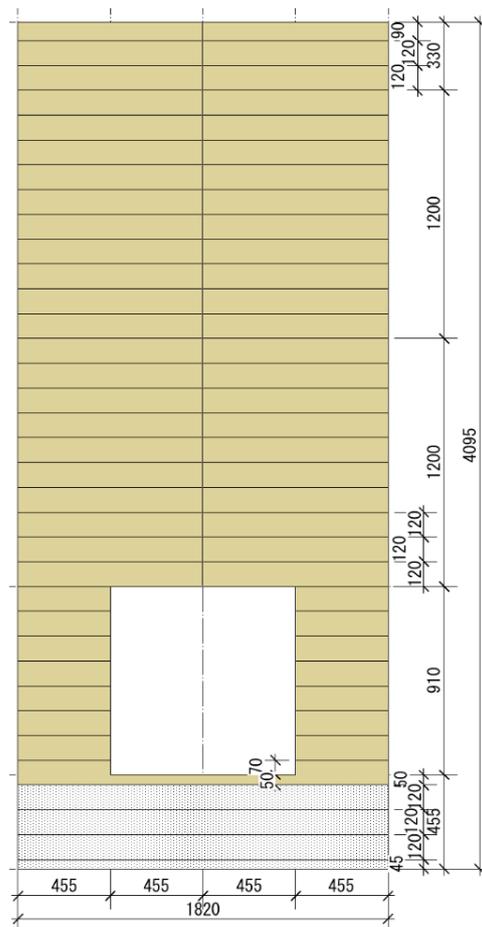


図 2.3-1 ファサード試験試験体図

2.3.4 ファサード試験 試験結果

写真 2.3-3、2.3-4 に試験中および試験後の各試験体を示す。いずれの試験体においても着火直後に噴出火炎が形成され、試験材が火炎により直接加熱される状況となった。その後、おそらく塗膜の燃焼と思われる試験材表面の火炎が時折り部分的に観測されたが、範囲は限定的であった。いずれも壁面の燃焼が上部まで及ぶ様子は見られなかった。12 分前後より、開口直上の炭化した試験材の脱落が生じ始めた。20 分の加熱が終了し、燃焼チャンバーからの火炎が焼失した直後、無処理の胴縁から生じるわずかな火炎を除いて有炎燃焼はすぐにおさまった。



写真 2.3-3 加熱中の様子（左：試験体 I'、右：試験体 II'）



写真 2.3-4 加熱終了直後の様子（左：試験体 I'、右：試験体 II'）



写真 2.3-5 試験終了後の開口部周囲
(試験体 I')



写真 2.3-6 試験後の試験体 (試験体 I')



写真 2.3-7 試験後の試験体 (煤の除去後) (左：試験体 I'、右：試験体 II')

いずれの試験体においても、試験中に開口部下部での発炎は見られなかった。試験直後の試験体開口部周囲を観察しても (写真 2.3-5)、開口の下半分では試験材の木口がわずかに炭化しているのみであり、開口下端よりも下の部分の試験材を省略しても影響がないことを確認した。試験体中央の目地付近は目地が開くこともなく炭化物が概ね残存しており、ここが弱点になった形跡は見られなかった。開口の上部では試験材の炭化・収縮により試験材が脱落していた。ただし、この燃え抜け面積は、炭の脱落の偶然性が影響する可能性があると思われた。

試験体上部の試験材表面はほぼ全面的に煤が付着しており (写真 2.3-6)、これを除去して試験材の炭化状況を観測、さらに板材ごとに、水平方向の炭化範囲を計測した。炭化の確認は、横張りの各板材の幅方向中央を金属片で擦り、削れ具合により判断した。試験体の燃え抜け範囲および炭化範囲を図 2.3-3、図 2.3-4 に示す。

燃え抜けマス 29
 燃え抜け面積(m²) 0.29
 燃え抜け高さ(mm) 800

■ 炭化 (板材中央で判定)
 ■ 燃え抜け (100 mm角内の半分が燃え抜け)

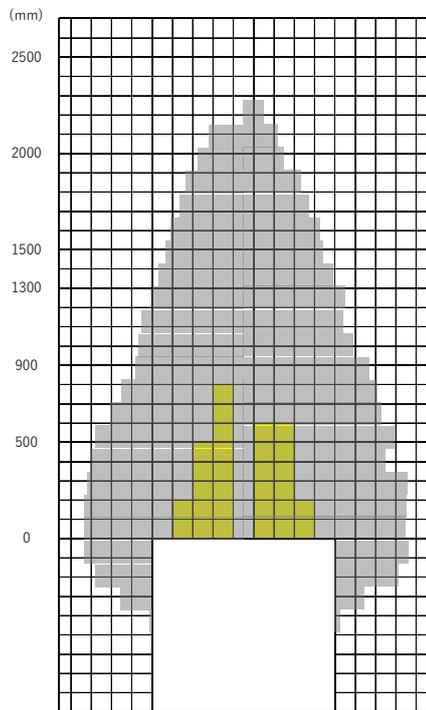


図 2.3-3 炭化・燃え抜け状況と試験後の試験体正面写真 (試験体 I')

燃え抜けマス 50
 燃え抜け面積(m²) 0.5
 燃え抜け高さ(mm) 1000

■ 炭化 (板材中央で判定)
 ■ 燃え抜け (100 mm角内の半分が燃え抜け)

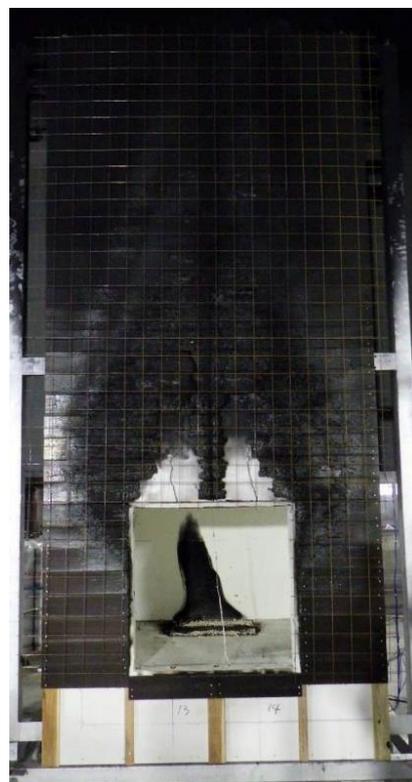
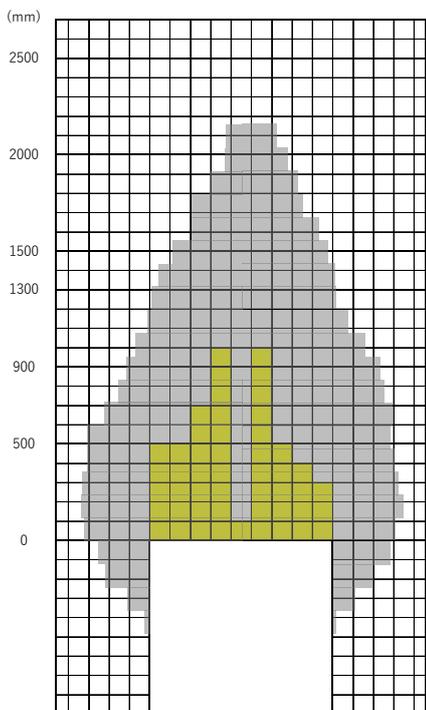


図 2.3-4 炭化・燃え抜け状況と試験後の試験体正面写真 (試験体 II')

試験後の試験材表面のススを除去した状況を見ると（写真 2.3-7）、試験体上部では試験材が未炭化であり、上方への延焼がかなり下の方で止まっていることが分かる。難燃薬剤の効果があるため、炭化していてもそこに火炎が形成されたわけではなく、炭化領域は、木材の炭化を引き起こすだけの加熱強度となる範囲がどこまでとなるか、を示す指標となる。燃え抜けた領域を見ると、試験体Ⅱ'の方が試験体Ⅰ'よりも広がっているが、炭化物の脱落は、燃焼性だけでなく、基材や薬剤の違いから生じる炭の硬さや割れやすさといった炭化物の形状保持能力の差の影響や偶然性も大きく影響すると考えられる。最高炭化高さは、いずれの試験体も 2,100mm 程度であり、炭化領域もほぼ同じ程度であるため、今回の 2 つの試験体はほぼ同程度の燃焼抑制性能を有していたと思われる。

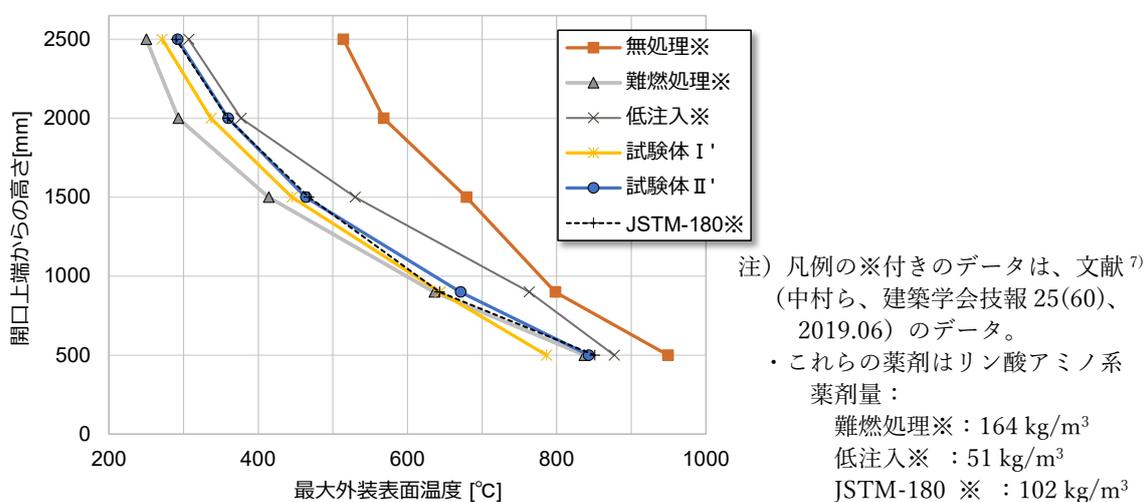


図 2.3-5 仕様ごとの最大外装表面温度分布

図 2.3-5 に、ファサード試験における各仕様での最大外装表面温度分布を示す。図中には比較のため既往のファサード試験での結果⁷⁾も記載している。今回試験した試験体Ⅰ'および試験体Ⅱ'の外装表面最高温度の分布をみると、いずれも過去の難燃処理※と低注入※の間の温度分布となり、試験体Ⅰ'の平均薬剤量が 152.4kg/m³、試験体Ⅱ'が 108.3kg/m³であることを考慮すると、薬剤量に応じた順当な結果であったといえる。開口上端から 2,000mm の位置での最大外装表面温度は試験体Ⅰ'で 337°C、試験体Ⅱ'で 360°Cであり、いずれの劣化後試験体も無処理の木材外装（同 568°C）と比較して十分に燃焼性が抑制されていることが明らかとなった。

2.4 火炎伝播試験 (ISO5658-2)

2.4.1 試験の概要と目的

火炎伝播試験 (ISO 5658-2) の概要を表 2.4-1 に示す。本火炎伝播試験では、試験体と放射熱パネルを 15 度の離隔で配置し (図 2.4-1)、試験体に対して図 2.4-2 に示すような分布のある加熱を加え、火炎の横方向への広がりを測定する。試験体の最も放射熱パネルに近い位置には口火となるバーナー火炎が設置されており、そこから火炎が到達した横方向の距離を火炎伝播距離として測定、その火炎が伝播しなくなる点 (消火点) での加熱強度として臨界熱流束 (CFE : Critical heat Flux at Extinguishment) が求められる。試験の測定項目を表 2.4-1 に示す。

今年度の本事業では、特にファサード試験の結果と火炎伝播試験での結果との関係を明らかにすることを目的に、4 仕様の試験体について試験を実施した。昨年度の試験結果では、試験体の設置方向が縦張 (火炎伝播の方向と試験材の繊維方向が直交) の方が試験結果のバラつきが小さい傾向があったため、今年度は基本的に縦張 (1 仕様のみ横張) とした。試験は (一社) 電線総合技術センターにて実施した。



図 2.4-1 火炎伝播試験装置

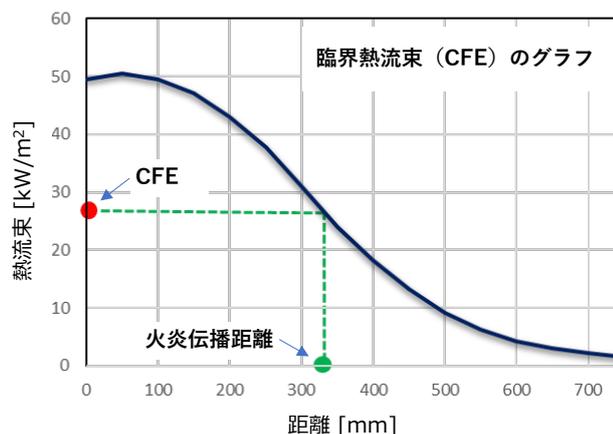


図 2.4-2 試験体位置と加熱強度の関係

表 2.4-1 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	熱照射パネルと試験体を 15 度の離隔で配置し (図 2.4-1)、図 2.4-2 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 2.4-2 火炎伝播試験での測定項目

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

2.4.2 火炎伝播試験 試験体

火炎伝播試験 (ISO 5658-2) に供した試験体の概要を表 2.4-3 に示す。対象とした試験材は、ファサード試験結果との対応が検証できる、試験材 I' (劣化後の試験材 I)、試験材 II' (劣化後の試験材 II)、過去にファサード試験を実施した低注入材⁷⁾を再現した試験材 III とした。いずれも基材はスギである。この試験材 III は、2.3 項の「ファサード試験仕様ごとの最大外装表面温度分布図 (図 2.3-5)」内にて「低注入※」として示した試験と同じ仕様の試験材を改めて作製し直したもので、意図的に難燃薬剤処理時の薬剤濃度を低くして材内の薬剤量を少なくしたものである。

本試験における試験体の寸法は、横 800mm×高さ 155mm であり、昨年度は各種試験材について縦張、横張それぞれについて試験を実施した。その結果をみると、縦張の方が横張と比較して火炎の燃えひろがり若干低い速度で進展し、薬剤量などから想定される試験順位の整合性が高い傾向が見られた。これは木材の繊維方向の熱伝導率とその直交方向よりおよそ 2.5 倍¹³⁾の大きさとなることが影響し、温度上昇にむらが生じやすいことが要因として考えられる。そのため、本年度の試験体は基本的に縦張とし、試験材についてのみ横張の試験体を設定した。表 2.4-3 中の試験体 No.の最後のアルファベットが“V”のものは縦張、“H”のものは横張を表している。

表 2.4-3 火炎伝播試験 試験体仕様

試験	No.	薬剤量 [kg/m ³]	薬剤	塗装	備考
火炎伝播試験	I'-V	152.9	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-V	106.0	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-H	125.8	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	横張り、促進劣化後
	III-V	50.7	リン酸アミノ系	オイルステイン系	縦張り、低濃度薬剤注入

2.4.3 火炎伝播試験 試験結果

表 2.4-4 に火炎伝播試験の結果詳細を示す。各試験体の試験中の推移は以下の通り。I'-V は試験開始 3 秒で着火、継続的に燃焼せず 55 秒に消火。II'-V は試験開始 6 秒で着火、継続的に燃焼せず 24 秒に消火。その後 598 秒で 50mm 付近で再着火したが火炎は伝播せず。II'-H は試験開始 3 秒で着火、短時間のうちに伝播し、86 秒で 400mm 付近まで到達した後短時間でパイロットバーナー付近以外は消火した。その後、パイロットバーナー付近で若干の燃焼が継続したが伝播はせず 102 秒に消火。III-V は試験開始 4 秒で着火、50mm ほどまで到達し、パイロットバーナー付近で着火/消火を繰り返した。その後、950 秒で膨張した試験片表面の裂け目で燃焼。1430 秒で加熱強度が強い側から 2 番目の試験片が脱落、2073 秒で先端部分が消火したため試験終了とした。

参考として、写真 2.4-1~4 に試験前後の試験体の写真を示す。なお、試験後写真において、例えば I'-V については写真では 500mm 付近まで炭化しているように見えるが、火炎は 70mm 付近までしか発生しておらず、そこより先の部分は炎を伴わず炭化が進んだものである。

表 2.4-4 火炎伝播試験結果

項目		I'-V	II'-V	II'-H	III-V
測定点までの到達時間 (秒)	50mm	38	19	9	51
	100	-	19	11	950
	150	-	-	11	950
	200	-	-	13	950
	250	-	-	21	1374
	300	-	-	29	-
	350	-	-	41	-
	400	-	-	86	-
	450	-	-	-	-
	500mm	-	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		70	120	410	270
CFE (kW/ m ²)		49.8	48.9	17.1	35.1
Qsb (MJ/ m ²)		N.C.	N.C.	0.753	42.94
着火時間 (秒)		3	6	3	4
消火時間 (秒)		55	778	102	消火せず
試験時間 (秒)		655	1378	702	2073



写真 2.4-1 火炎伝播試験前後の試験体表面の様子（I'-V、左：試験前、右：試験後）



写真 2.4-2 火炎伝播試験前後の試験体表面の様子（II'-V、左：試験前、右：試験後）



写真 2.4-3 火炎伝播試験前後の試験体表面の様子（II'-H、左：試験前、右：試験後）

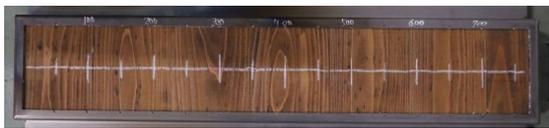


写真 2.4-4 火炎伝播試験前後の試験体表面の様子（III-V、左：試験前、右：試験後）

表 2.4-5 火炎伝播試験 試験結果概要

No.	薬剤量 [kg/m ³]	薬剤	CFE [kW/m ²] ^{※1}	火炎伝播距離 [mm]	Qsb [MJ/m ²] ^{※2}
I'-V	152.9	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	49.8	70	N.C.
II'-V	106.0	リン・窒素系	48.9	120	N.C.
II'-H	125.8	リン・窒素系	17.1	410	0.75
III-V	50.7	リン酸アミノ系	35.1	270	42.94

※1 CFE：(Critical heat Flux at Extinguishment)消火時の臨界熱流束

※2 Qsb：持続燃焼のための平均熱量、N.C.：Not Calculable

表 2.4-5 は火炎伝播試験の仕様と結果の概要である。これらのうち、縦張の仕様においては、薬剤量が多いほど火炎伝播距離は小さく、CFE は大きくなっている。CFE は小さいほど、より小さい加熱でも火炎伝播する、という意味合いなので、数字が大きいほど燃えにくい、火炎伝播しにくい、ということになる。即ち、縦張試験体においては、試験結果と薬剤量は概ね相関する結果となっている。ただし、III-V については火炎伝播距離 100mm 以上となったのはかなり時間の経過した後であり、割れ等の状況によってはもっと火炎伝播が進まなかった可能性もある。試験体を横張とした II'-H については、加熱初期に表面の塗膜が短い時間燃えてすぐほとんど消える、という状況が生じたため伝播距離が大きい値となったと考えられる。これは恐らく塗膜の浮きなど、偶然性によるところが大きいと思われるが、このような初期の短時間の燃焼をどう評価するかは今後の課題といえる。

2.5 低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4)

2.5.1 試験の概要と目的

昨年度の事業では、標準コーンカロリメーター試験 (ISO5660-1) (以下、標準コーンと略) 及びラージコーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4・ASTME2965) (以下、ラージコーンと略) の2種を行った。それらの比較より、ラージコーンでは標準コーンと比べて繰り返し試験体間の数値の変動が小さく安定した結果が得られること、発熱量の小さな試験体に対する感度が向上し、精密な評価が可能であることを明らかにした。

これを受け本年度は、ファサード試験の結果との関係性を把握することを目的に、ラージコーンによりファサード試験に供した試験材についての評価を実施した。

試験を行なったラージコーンは、大きさ 15×15 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 2.5-1)、燃



写真 2.5-1

ラージコーンの試験装置¹⁴⁾

焼により減少した酸素濃度から、発熱量および発熱速度が計算される。試験条件は、加熱強度を防火材料の評価試験と同じ 50kW/m²、電気スパークでの口火ありの条件とし、試験時間を昨年度と同じく 30 分までとした。外装材の燃えひろがりにおいては、強い加熱を受ける火炎の下の方より火炎の先端に近いやや弱い加熱を受ける部分の燃焼性状の影響が大きいことも考えられ、その場合は加熱強度を例えば 30 kW/m²程度とした条件での評価の方が適しているかもしれないが、今年度は昨年度と条件をそろえることを優先した。

2.5.2 ラージコーン試験 試験体

表 2.5-1 にラージコーン試験の試験体を示す。試験体Ⅱ'は、試験材Ⅱを 2.2 項で JIS A 1326 に準じて促進劣化させた試験材Ⅱ'から切り出したもの、試験体Ⅲは、2.4 項で火炎伝播試験に供したのと同じ、低濃度薬剤注入により難燃薬剤量を少なく作製したもので、

表 2.5-1 ラージコーン試験 試験体

No.	薬剤量 [kg/m ³]	薬剤	塗装	備考
Ⅱ'	125.8	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
Ⅲ	50.9	リン酸アミノ系	オイルステイン系	低濃度薬剤注入

いずれも繰り返し数は3体である。試験体寸法はいずれも 150mm×150mm×18mm で、加熱強度は 50kW/m²、電気スパークでの口火ありの条件とし、試験時間を昨年度と同じく 30分までとした。

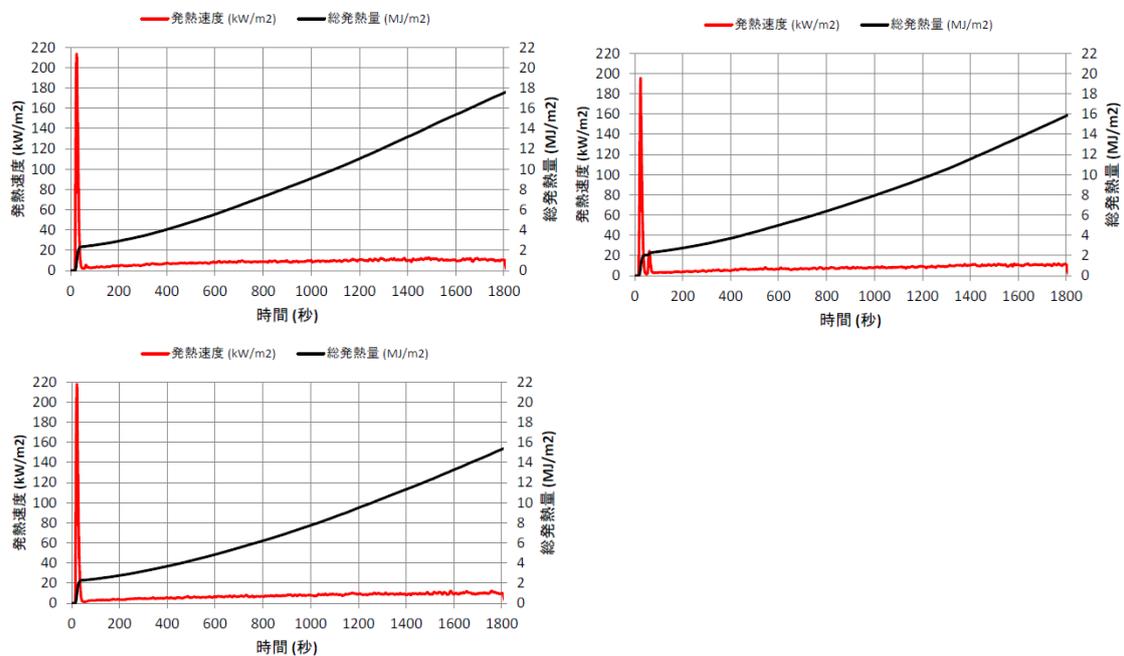


図 2.5-1 ラージコーン試験 発熱速度と総発熱量の推移 (試験体Ⅱ')

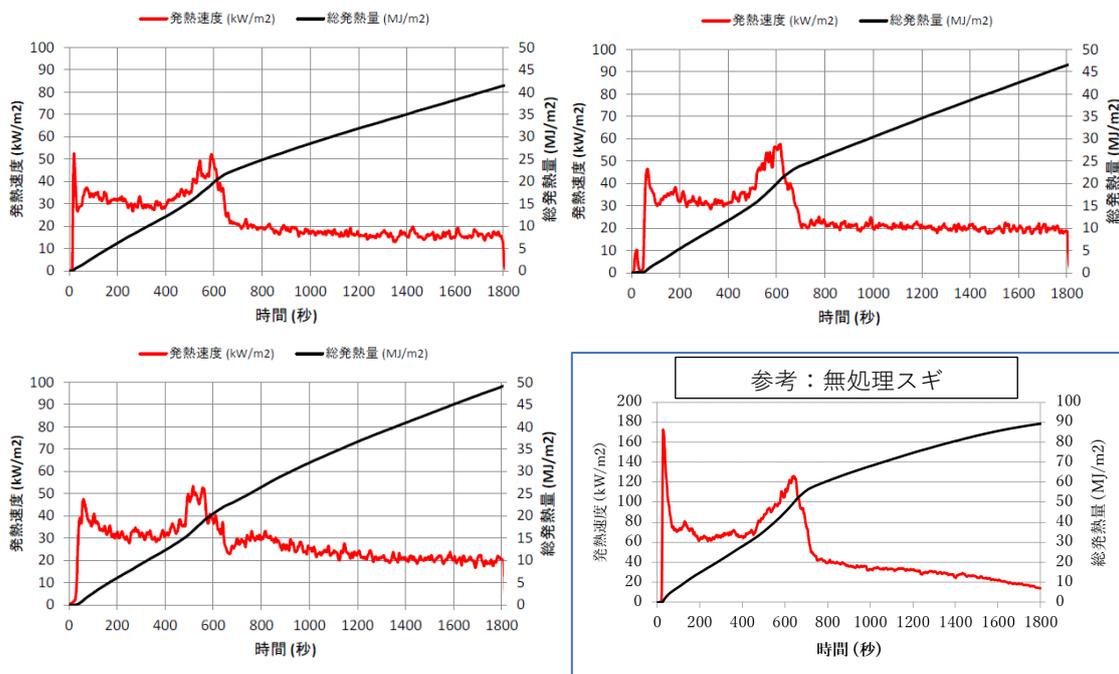


図 2.5-2 ラージコーン試験 発熱速度と総発熱量の推移 (試験体Ⅲ)



写真 2.5-2 試験体II'の試験前後の状況（左から試験前、試験後正面、側辺、裏面）



写真 2.5-3 試験体IIIの試験前後の状況（左から試験前、試験後正面、側辺、裏面）

表 2.5-2 ラージコーン試験の総発熱量と最高発熱速度

試験体	総発熱量 (MJ/m ²)			最高発熱速度 (kW/m ²)	200kW/m ² を越す時間
	10 分間	20 分間	30 分間		
試験体II' 1	5.6	11.0	17.5	213.4	3 秒
2	5.0	9.6	15.8	194.9	なし
3	4.8	9.5	15.3	217.3	2 秒
平均	5.1	10.1	16.2	208.5	
試験体III 1	19.8	31.9	41.4	57.6	なし
2	20.0	34.6	46.5	52.4	なし
3	20.5	36.6	49.0	53.3	なし
平均	20.1	34.4	45.6	54.4	

2.5.3 ラージコーン試験 試験結果

図 2.5-1、図 2.5-2 に各試験体の発熱速度および総発熱量の推移を、写真 2.5-2、写真 2.5-3 に試験体II'、試験体IIIの試験前後の状況例を示す。図 2.5-2 には参考のために昨年度実施した無処理スギの試験データも記載している。また、表 2.5-2 に、各試験体の 10 分間、20 分間、30 分間の総発熱量、最高発熱速度、発熱速度が 200kW/m²を越した時間の各データおよび各 3 体のそれらの平均値を示す。発熱速度のグラフを見ると、試験体II'では加熱開始後 20 秒程度で着火、直後に大きな発熱ピークがあり、3 体のうち 2 体で 200kW/m²を越す時間が 3 秒から 4 秒となっている。その後短時間で消炎し、発熱速度は一旦 10 kW/m²未満にまで低下、以降、徐々に発熱速度はわずかに増加傾向となるものの、再び着火すること

はなかった。なお、3体のいずれでも1200秒前後でフラッシュ（一瞬だけ火炎が生じる現象）が生じているが、これは裏面が炭化する時間帯により可燃ガスがやや増えていたためと考えられる。試験体Ⅲでは、17～30秒で着火し、その後やや発熱速度は停滞し600秒程度で再びピークとなり、以降は20 kW/m²程度となっている。ピークの値は試験体Ⅱ'よりも小さいが（縦軸の縮尺に注意のこと）、総発熱量はこちらの方が大きい値となっている。ただし、無処理スギと比較すると発熱速度は概ね半分以下に抑えられている。試験後の試験体の様子を見ると、いずれの試験体も加熱側に凸となる比較的大きな変形が生じ、試験体Ⅲでは貫通割れが生じている。それぞれの仕様での、試験体間のばらつきを見ると、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ている。また、総発熱量でみると、薬剤量に応じた順当な結果であったといえる。

試験体Ⅱ'での加熱初期の大きな発熱は塗膜の燃焼によるものと考えられ、外装材での燃えひろがりに置き換えて考えるとごく短時間のみ外壁が火炎に包まれ、すぐに消滅するような状況につながる可能性のあるものである。もっとも、外部からの加熱が弱い場合はこのコーン試験のように着火しないことも考えられ、このような加熱初期の短時間の燃焼が実火災でどのような現象につながるのか、短時間のみ燃えひろがる場合を火災安全上どう捉えるか、の問題がある。

2.6 ファサード試験結果と小型の燃焼試験との関係

ここで、得られたファサード試験の結果と、火炎伝播試験等の結果との関係を検証する。図2.6-1は、ファサード試験での燃えひろがり抑制効果の有無の判定に用いられる、開口上端から2,000mm上方の外装表面温度の最高値を縦軸とし、横軸を火炎伝播試験でのCFE値とした場合の各試験体のプロットを示している。図2.6-2は、同じく外装表面温度の最高値を縦軸とし、横軸をラージコーン試験での30分間の総発熱量とした場合である。図中の赤い破線は、概ねプロットが分布するであろう予測ラインである。例えば、横軸を火炎伝播CFEとしたグラフにおいて、CFEは値が小さいほど燃えやすいということになるが、CFEが小さく延焼性の高いものでも火炎温度には限度があること、CFEが大きく燃えないものでも噴出火炎により三百数十°C程度にはなるであろうことから図に示すようなラインとなることを予測している。その下の、横軸をラージコーン試験での総発熱量（30分間）としたものは、右に行くほど燃えやすいので、CFEのグラフから左右を反転したようなプロットとなる。これを見ると、おおむね予測したライン上にプロットが乗るように見えるが、現状ではまだファサード試験と小型の燃焼試験の双方のデータが揃う試験体数が少ないため、これらの関係性を表すラインについて明確なことを言うことは難しい。また、そもそも一つのライン上に集まるわけではない可能性もあるが、横軸を適切に選択することによってプロットがより線状となるかもしれない。横軸の小型燃焼試験から得られる数値としては、他にも火炎伝播試験での火炎伝播距離や、コーン試験で加熱強度を弱くした場合の総発熱量、最高発熱速度、あるいは他の小型燃焼試験での数値等、多くの候補があり、また、縦軸につ

いてもファサード試験でのほかの数値（表面から 50mm 外側の温度やほかの高さでの温度など）とした方がより適切かもしれない。

実際の火災での燃えひろがり性状を現状で最も現実に近い形で評価できるのは、今のところ JISA 1310 の建築ファサードの燃えひろがり試験に準じた方法によるものであるので、今後、更にもその試験数を増やし、より多くのプロットで小型燃焼試験との関係性を見てゆく必要がある。ファサード試験での燃えひろがりの判定ラインはこの開口より 2m 上方での温度 500°C が一つの基準とされているので、特にその周辺にプロットされるであろうサンプル、即ち、さらに薬剤の少ない試験体についての検証が重要と考える。

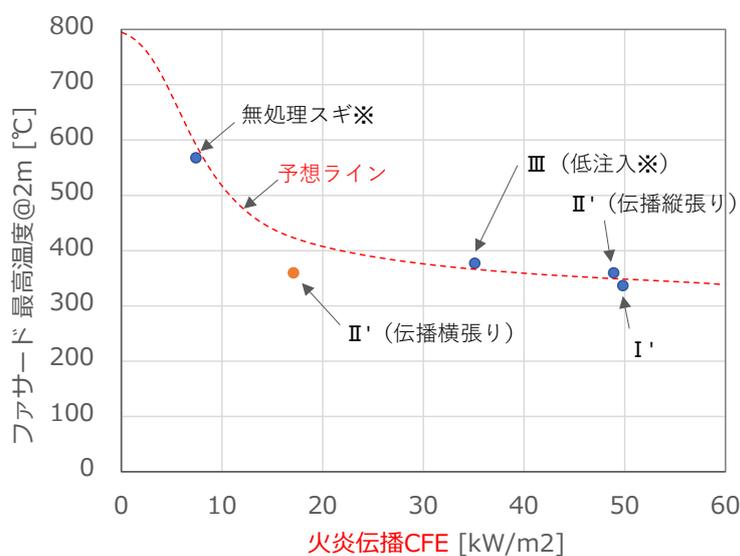


図 2.6-1 ファサード試験結果（ファサードでの開口上方 2m での外装最高温度）と火炎伝播 CFE との関係

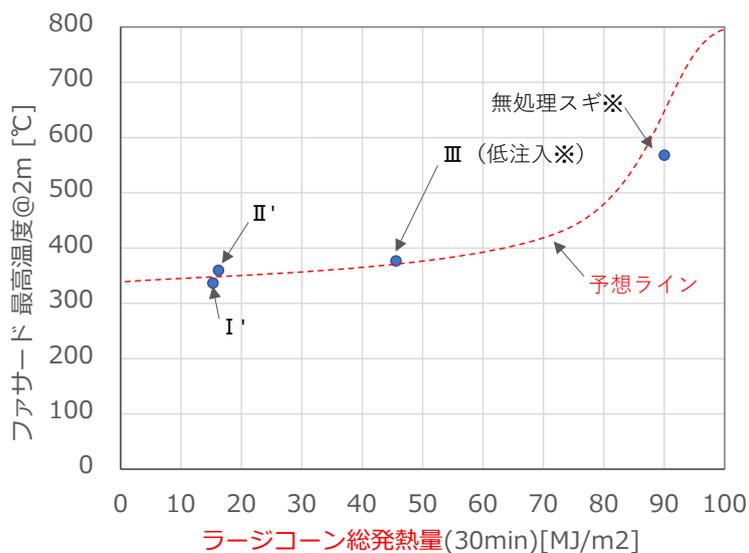


図 2.6-2 ファサード試験結果（ファサードでの開口上方 2m での外装最高温度）とラージコーンでの総発熱量（30 分）との関係

2.7 難燃処理試験体の屋外暴露試験（木材表面の経年的変化）

2.7.1 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及び表面性状を明確に示すことが重要となる。そのため、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・白華の測定を行う。

2.7.2 屋外暴露架台での木材表面変色・白華の経時的試験

以下に示す新しい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及び木材表面劣化現象を把握することを目的としている。

2.7.3 暴露試験片と暴露方法

①試験片：スギ辺材 柾目材（目試験片（L：150mm x T：55mm x R：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/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及び積算日射量

写真で示す通り、東西南北各面に面した垂直暴露架台を作製し、これに各種試験片をセットし屋外暴露試験を開始した。測定として、薬剤溶脱量、表面変色、白華現象の観察等を行った。

⑪暴露試験片

i. 処理：難燃薬剤注入処理＋塗装 試験片 No.1～15

- ii. 処理：難燃薬剤注入処理+塗装無し 試験片 No.16~30
- iii. 処理：難燃薬剤注入処理無し+塗装 試験片 No.31~45
- iv. 処理：難燃薬剤注入処理無し+塗装無し 試験片 No.46~60

2.7.4 暴露結果

図 2.7-1~4 に暴露 3 ヶ月後、9 ヶ月後、15 ヶ月、28 カ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%、3.8%、暴露 15 ヶ月後塗装有り 4.1%、塗装無し 5.1%、暴露 28 ヶ月後塗装有り 5.0%、塗装無し 6.3%であり、暴露期間と共に増加する傾向を示し、塗装処理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、暴露期間が更に 1 年経過した暴露 28 ヶ月において、塗装有りで西面 5.1%、北面 4.9%、南面 5.1%、東面 4.6%、塗装無しで西面 6.5%、南面 6.5%、北面 6.0%、東面 6.2%であり、質量増加率は各暴露面とも約 1%増加し、西面及び南面が最も減少率が大きい傾向を示した。しかしながら、暴露面に違いによる差は 1%程度であった。西面及び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、西寄り及び南寄りの風により降雨が西面と南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 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、特に塗装無しの試験片で質量減少率が 2 倍程度増加した。これは、前年に引き続き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図 2.7-5~8 に暴露 3 ヶ月後、9 ヶ月後、15 ヶ月後、28 ヶ月後の色差 ΔE^* 値を示す。表面変色は、これまで塗装処理により大幅に抑制される傾向を示したが、暴露 28 カ月後では難燃処理無しの塗装試験片での色差が増大し、処理無しの無塗装試験片とほぼ同程度の値となった。無塗装試験片の色差が前回の測定時において 40 に近づきほぼ一定の値となってきたことから、塗装試験片も塗料がほぼ無くなって無塗装と同様の表面になったためと考えられる。薬剤処理の有無では、薬剤処理した試験片の方が変色が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が、暴露 28 カ月後において無塗装では難燃処理無とほぼ同様の色差となった。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、南面の色差の増加が大きくなる傾向が認められた。各面間の差は暴露 28 ヶ月後でも色差で 5 程度であった。

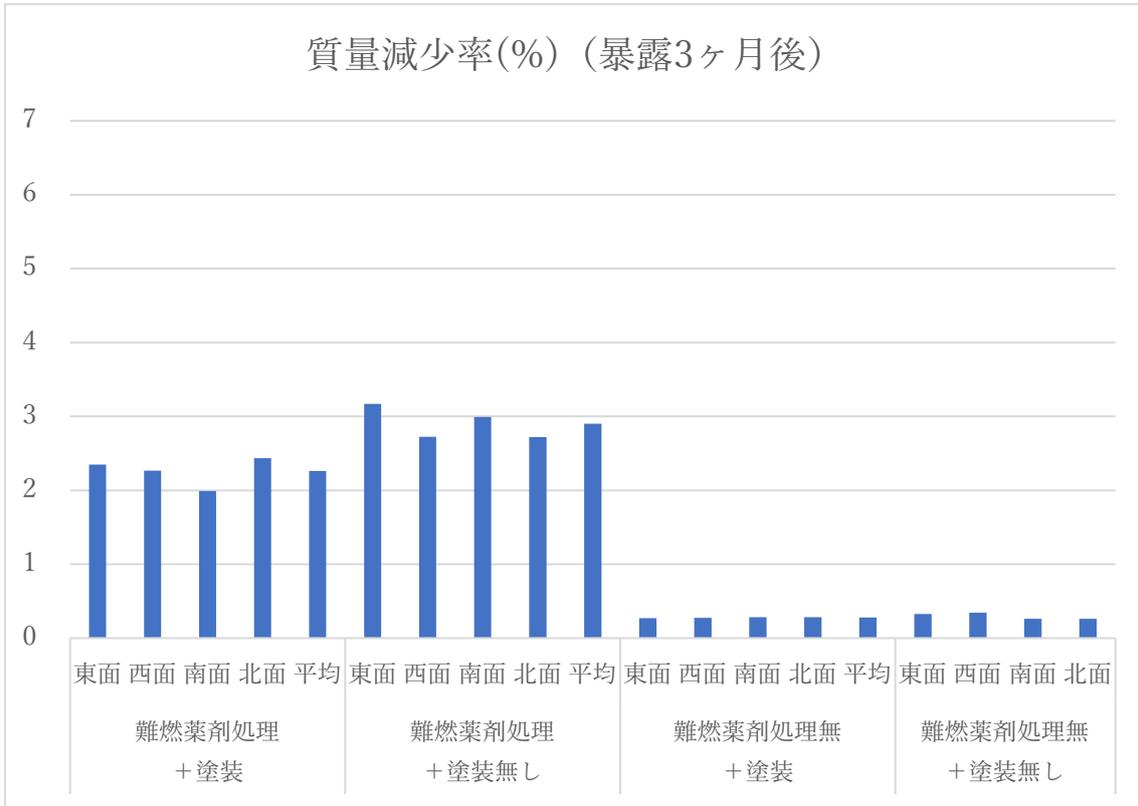


図 2.7-1 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片からの質量減少率 (暴露 3 ヶ月後)

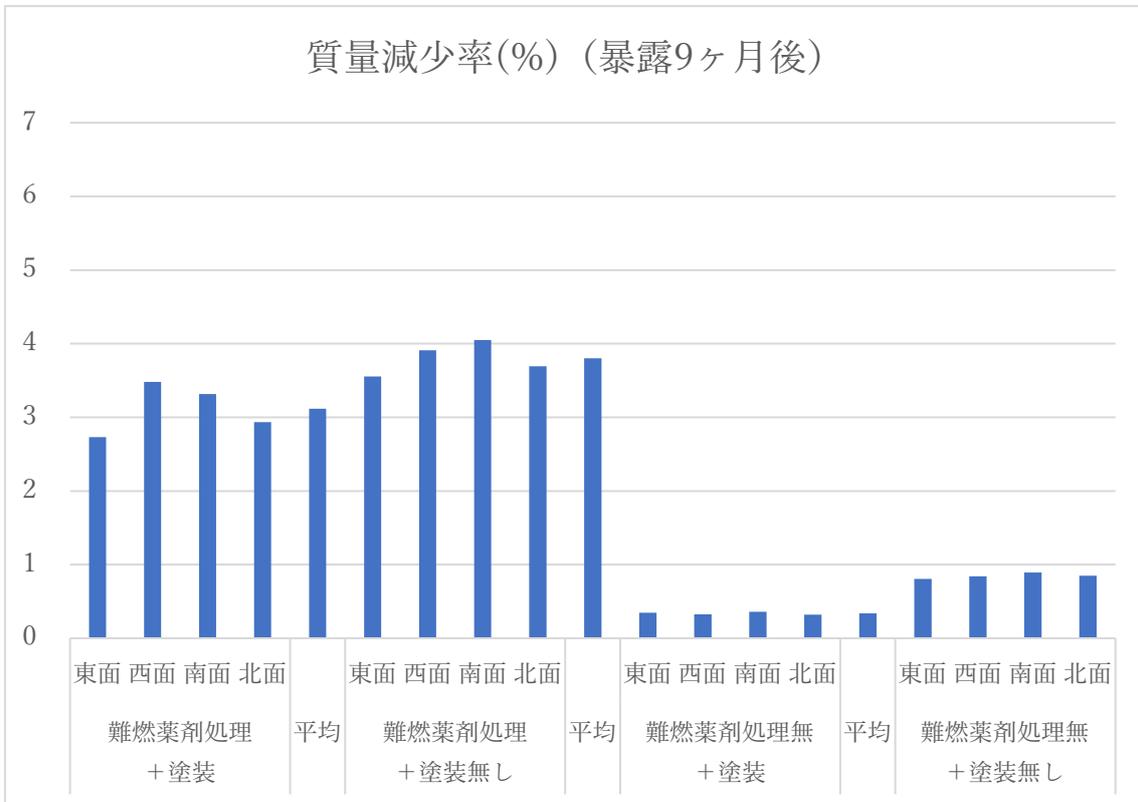


図 2.7-2 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片からの質量減少率 (暴露 9 ヶ月後)

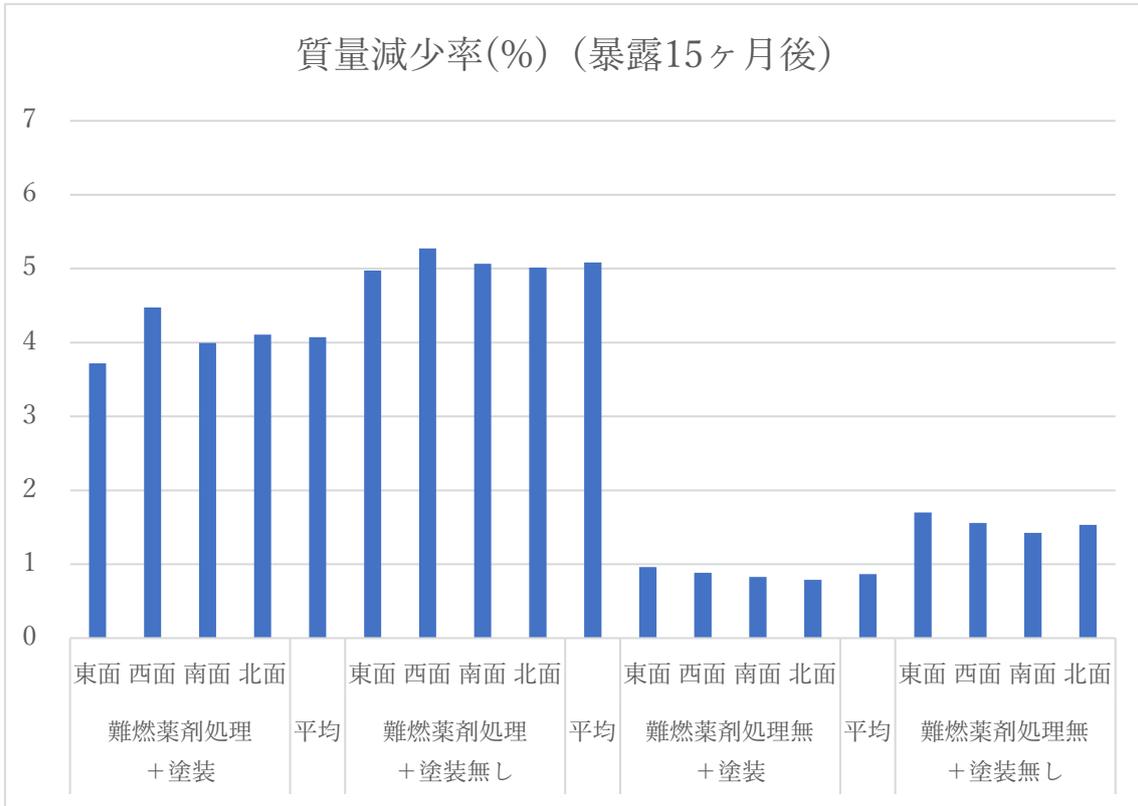


図 2.7-3 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片からの質量減少率 (暴露 15 ヶ月後)

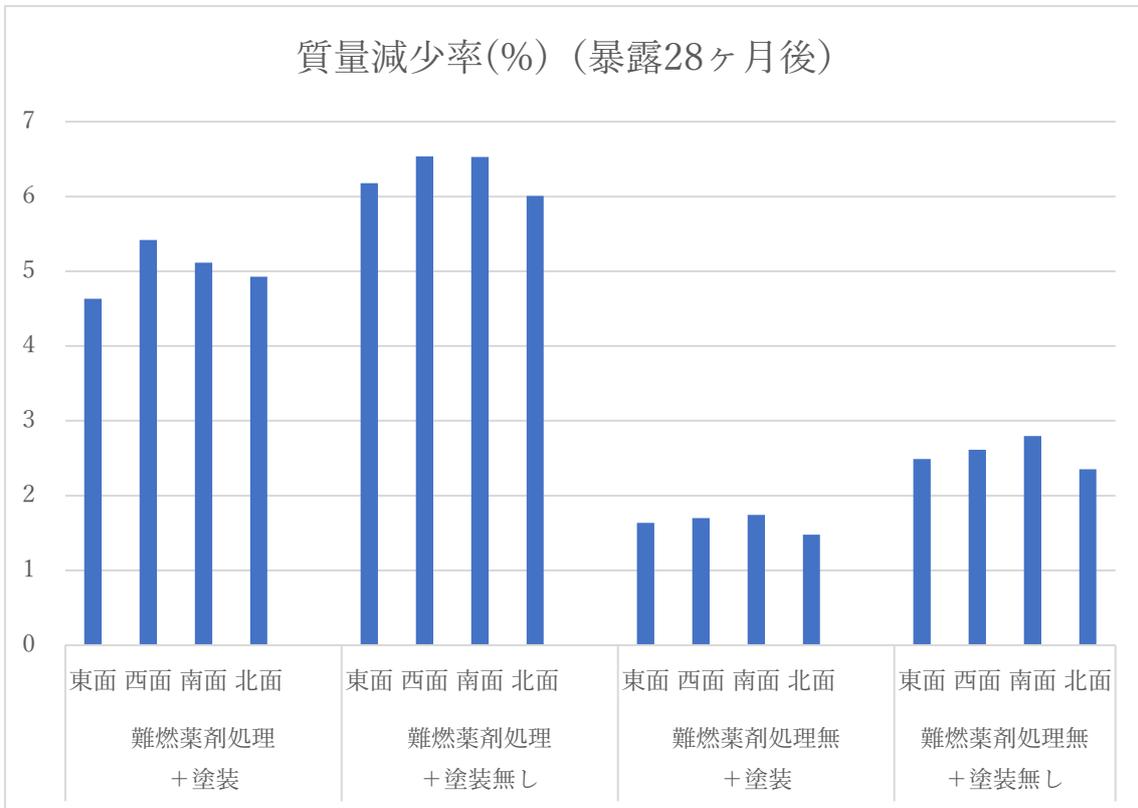


図 2.7-4 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片からの質量減少率 (暴露 28 ヶ月後)

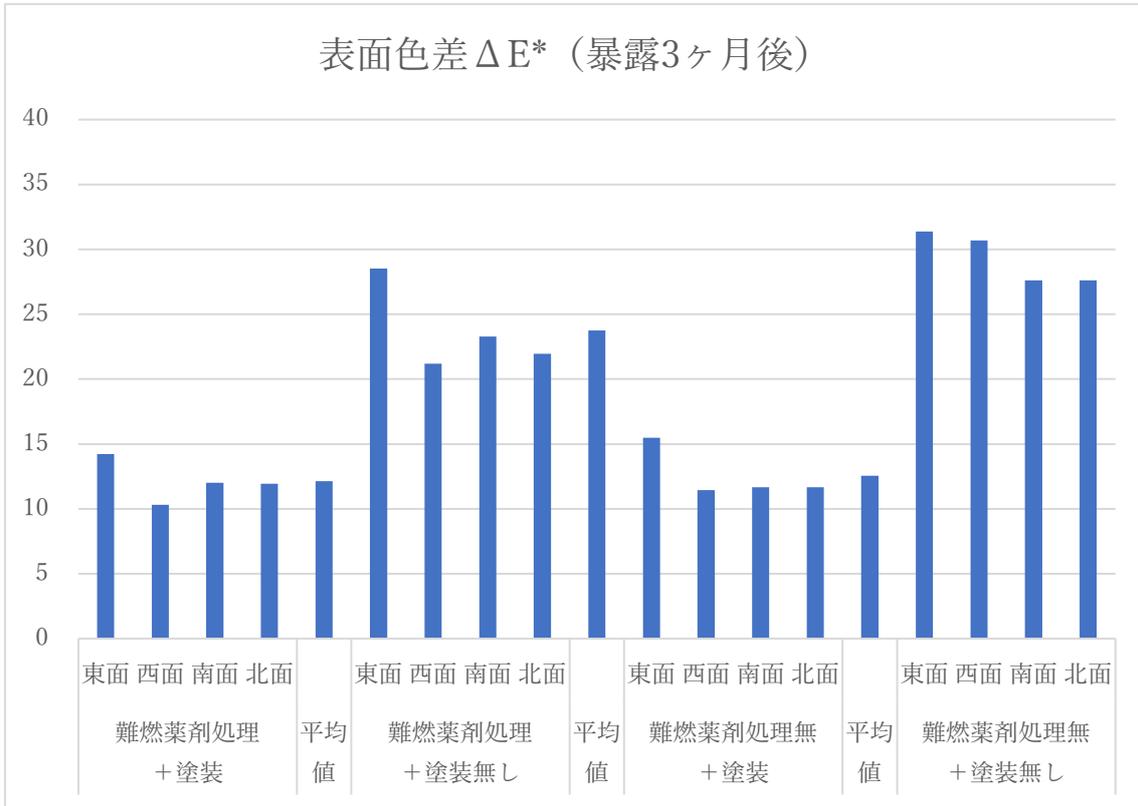


図 2.7-5 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片の表面式差 ΔE^* (暴露 3 ヶ月後)

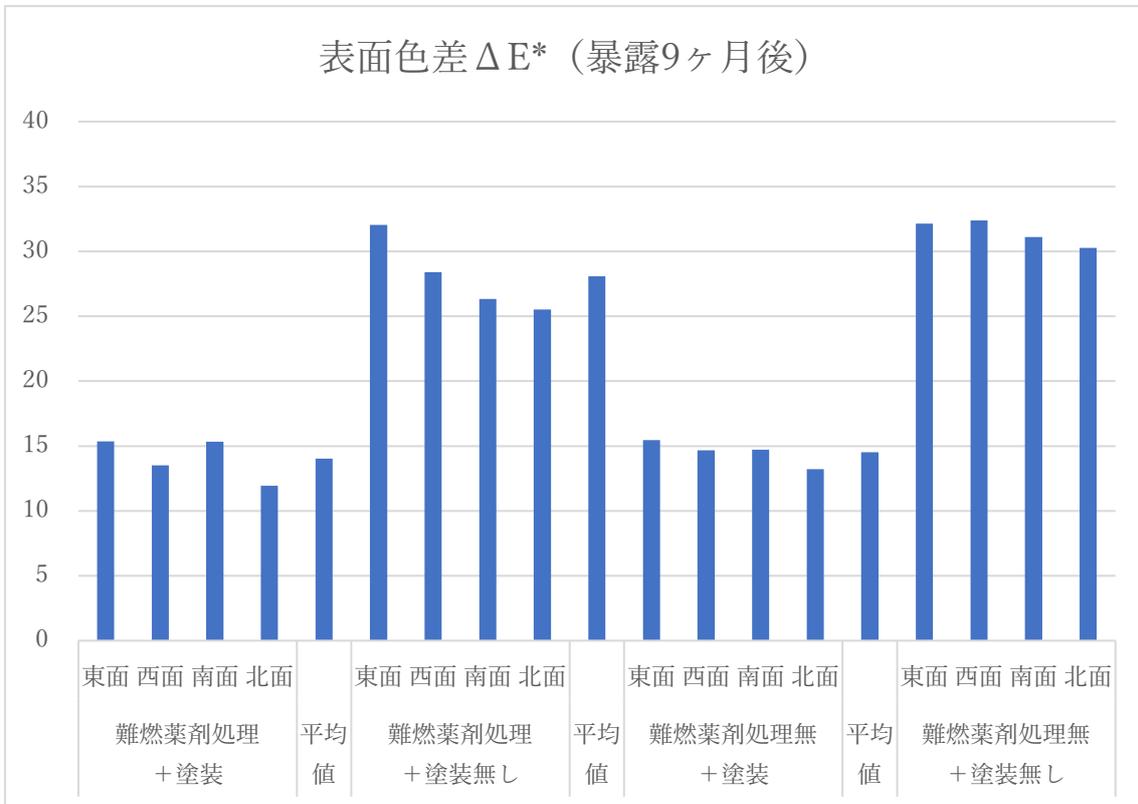


図 2.7-6 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片の表面式差 ΔE^* (暴露 9 ヶ月後)

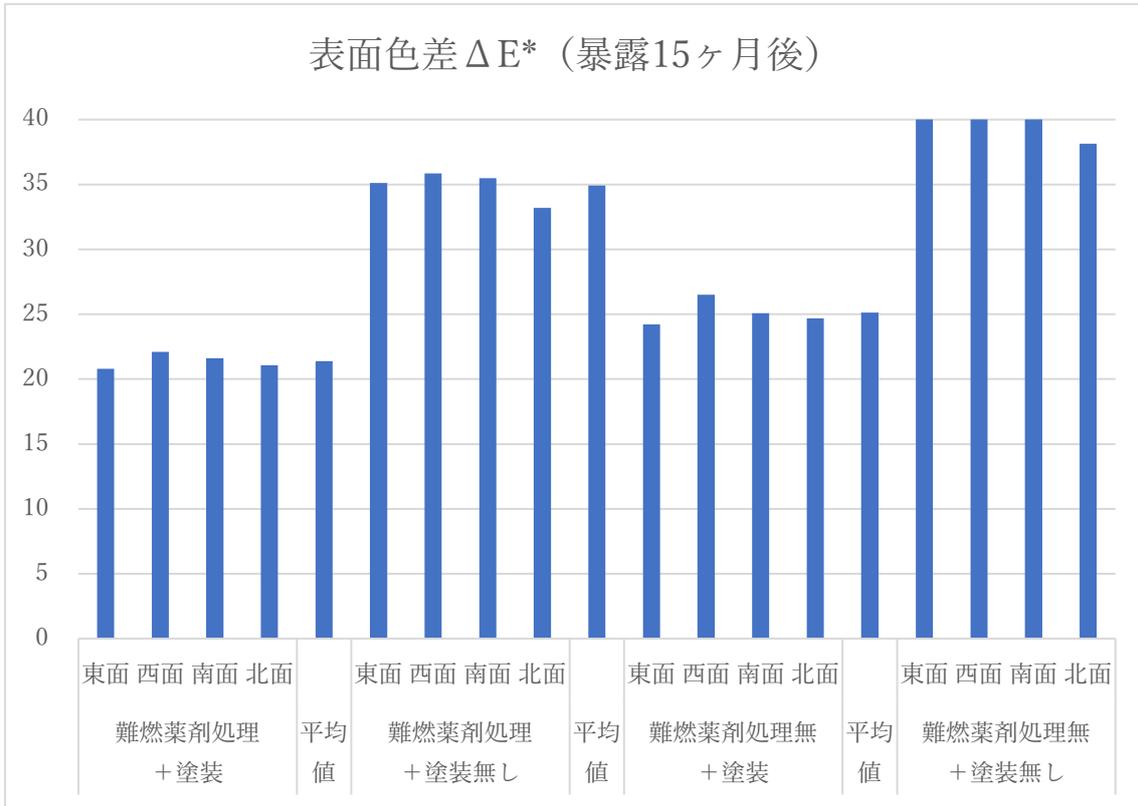


図 2.7-7 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片の表面式差 ΔE^* (暴露 15 ヶ月後)

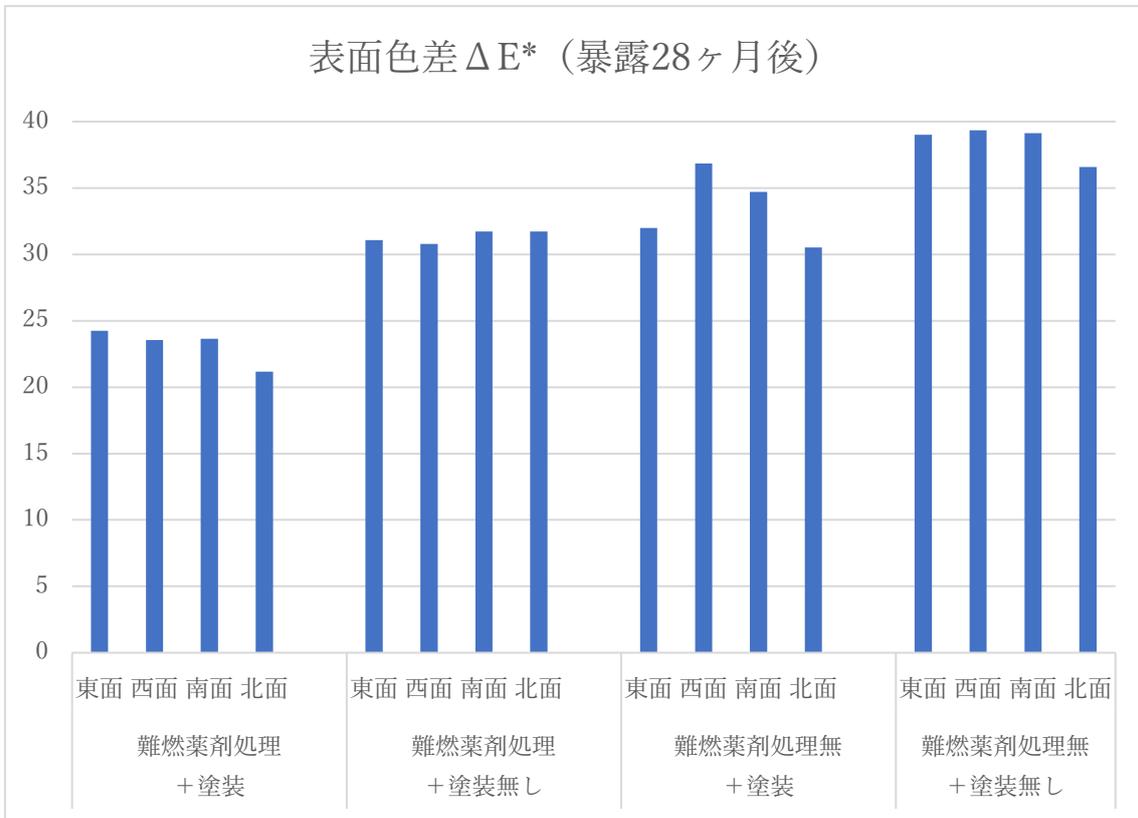


図 2.7-8 東西南北各面に垂直暴露した暴露試験片の表面式差 ΔE^* (暴露 28 ヶ月後)

表 2.7-1 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)

気温

ANNUAL CLIMATOLOGICAL SUMMARY

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.	HEAT	COOL	HI	DATE	LOW	DATE	MAX	MAX	MIN	MIN
		MAX	MIN	MEAN	FROM	DEG	DEG								
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 2.7-2 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

YR	MO	TOTAL	DEP.	MAX	DATE	DAYS OF RAIN		
			FROM	OBS.		OVER		
			NORM	DAY		.2	2	20
22	1	28.0	0.0	21.4	11	4	2	1
22	2	74.6	0.0	25.6	10	7	5	2
22	3	118.2	0.0	54.2	18	12	9	1
22	4	247.6	0.0	62.8	4	17	11	5
22	5	147.4	0.0	52.4	13	10	8	3
22	6	134.2	0.0	61.6	6	12	9	1
22	7	226.4	0.0	66.2	12	13	9	4
22	8	189.8	0.0	119.4	13	16	7	2
22	9	319.2	0.0	79.0	18	14	10	6
22	10	140.0	0.0	85.2	7	7	7	1
22	11	95.2	0.0	55.6	23	4	4	2
22	12	82.6	0.0	28.0	22	7	5	2
		1803.2	0.0	119.4	AUG	123	86	30

表 2.7-3 日本大学藤沢キャンパス 2023 年屋外暴露場気象データ (月毎)

気温

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 MAX	MEAN MIN	MEAN	DEP. FROM NORM	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	HI	DATE	LOW	DATE	MAX MIN			
												>=32	<=0	<=0	<=-18
23	1	10.6	1.7	5.9	0.0	385	0	15.1	13	-4.8	26	0	0	5	0
23	2	12.0	3.3	7.6	0.0	300	0	19.8	19	-1.2	16	0	0	2	0
23	3	17.3	8.9	13.0	0.0	169	5	25.2	24	4.8	3	0	0	0	0
23	4	20.5	12.3	16.3	0.0	76	17	25.1	16	5.9	9	0	0	0	0
23	5	22.8	14.9	18.7	0.0	38	51	30.7	18	10.7	8	0	0	0	0
23	6	26.7	19.8	22.9	0.0	2	133	31.8	29	15.6	1	0	0	0	0
23	7	32.0	24.6	27.9	0.0	0	296	36.6	17	20.1	2	15	0	0	0
23	8	32.6	26.0	28.8	0.0	0	326	35.3	21	23.1	2	21	0	0	0
23	9	30.5	23.7	26.7	0.0	0	253	34.3	3	18.6	25	6	0	0	0
23	10	24.1	14.9	19.2	0.0	34	63	30.3	1	10.3	30	0	0	0	0
23	11	19.5	10.3	14.9	0.0	125	22	26.6	7	5.2	29	0	0	0	0
23	12	15.3	5.1	9.8	0.0	267	3	25.2	16	-1.7	23	0	0	3	0

22.1	13.8	17.7	0.0	1397	1168	36.6	JUL	-4.8	JAN	42	0	10	0		

表 2.7-4 日本大学藤沢キャンパス 2023 年屋外暴露場気象データ (月毎)

降水量

YR	MO	TOTAL	DEP. FROM NORM	MAX OBS. DAY	DATE	DAYS OF RAIN OVER		
						.2	2	20
23	1	17.8	0.0	4.8	15	8	5	0
23	2	50.4	0.0	33.0	10	8	2	1
23	3	189.4	0.0	37.0	18	15	10	4
23	4	114.2	0.0	50.0	15	8	6	2
23	5	260.2	0.0	65.0	8	16	10	5
23	6	370.6	0.0	145.6	2	14	11	3
23	7	57.6	0.0	37.8	1	5	3	1
23	8	155.2	0.0	47.0	13	15	12	2
23	9	249.4	0.0	87.6	15	11	9	3
23	10	172.4	0.0	63.8	4	10	5	3
23	11	69.0	0.0	49.8	17	8	4	1
23	12	47.4	0.0	38.2	12	5	3	1

		1753.6	0.0	145.6	JUN	123	80	26

2.7.4-2 3種類の難燃薬剤注入材の耐候性試験

3社から難燃薬剤を注入処理したスギ試験片について、東西南北の各面に垂直暴露し耐候性評価試験を開始した。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、2022年1月から開始した。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）であった。表2.7-5に各社からの試験片の概要、表2.7-6に東西南北垂直暴露試験の試験片配置を示す。

表 2.7-5 暴露試験片の概要

処理	試験片(A)	試験片(B)	試験片(C)
樹種	スギ		
難燃処理	リン酸系難燃剤等各社により異なる		
薬剤注入量	169~181kg/m ³ 程度で各社により異なる		
塗装処理	着色含浸形塗料	着色造膜形塗料	透明造膜形塗料
塗布量	100g/m ²	228~256g/m ²	

表 2.7-6 四面暴露配置

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)

東面



2.1-a

2.2.-a

1.1-a

1-2.a

2.1-a

2.2-a



ト-1.1

ト-2.1

㇗-1.1

㇗-2.1

西面



5.1-a

5.2.-a

1.3-a

1-4.a

2.3-a

2.4-a



ト-1.2

ト-2.2

㇗-1.2

㇗-2.2

写真 2.7-1 暴露前試験片写真（東西面）

南面



6.1-a

6.2.-a

1.5-a

1-6.a

2.5-a

2.6-a



ト-1.3

ト-2.3

ム-1.3

ム-2.3

北面



10.1-a

10.2.-a

1.7-a

1-8.a

2.7-a

2.8-a



ト-1.4

ト-2.4

ム-1.4

ム-2.4

写真 2.7-2 暴露前試験片写真 (南北面)



写真 2.7-3 四面暴露架台と暴露試験



東面



西面



南面



北面

写真 2.7-4 東西南北各面に垂直暴露した試験片

東面



2.1-a

2.2.-a

1.1-a

1-2.a

2.1-a

2.2-a



ト-1.1

ト-2.1

ム-1.1

ム-2.1

西面



5.1-a

5.2.-a

1.3-a

1-4.a

2.3-a

2.4-a



ト-1.2

ト-2.2

ム-1.2

ム-2.2

写真 2.7-5 屋外暴露 12 ヶ月後の試験片写真 (東西面)

南面



6.1-a

6.2.-a

1.5-a

1-6.a

2.5-a

2.6-a



ト-1.3

ト-2.3

ム-1.3

ム-2.3

北面



10.1-a

10.2.-a

1.7-a

1-8.a

2.7-a

2.8-a



ト-1.4

ト-2.4

ム-1.4

ム-2.4

写真 2.7-6 屋外暴露 12 ヶ月後の試験片写真 (南北面)

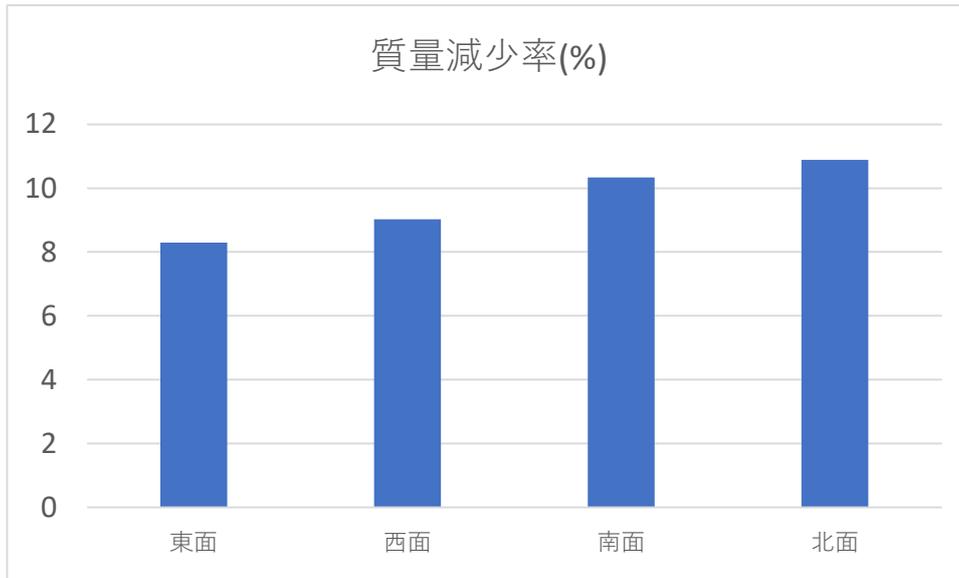


図 2.7-9 暴露 1 年後の質量減少率 (A 社処理品)

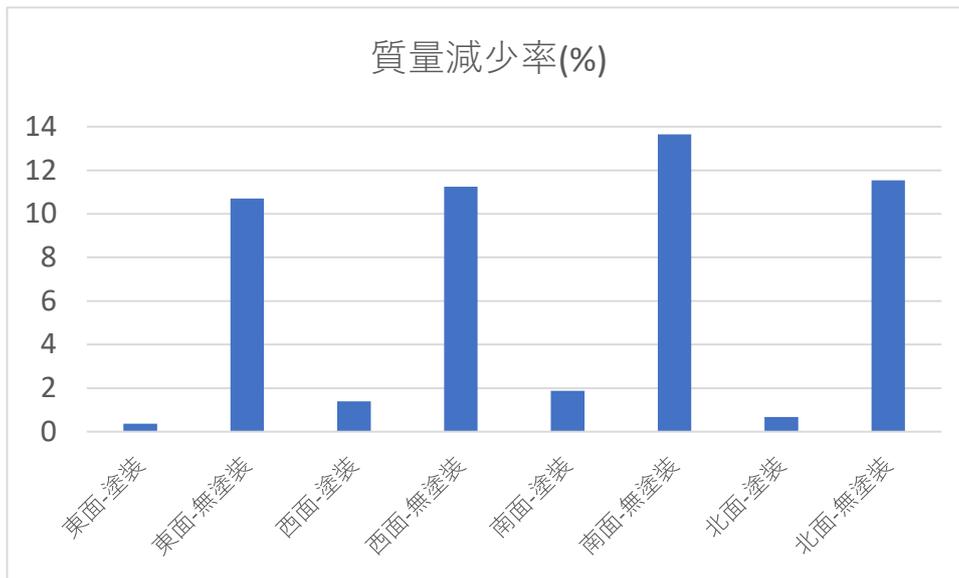


図 2.7-10 暴露 1 年後の質量減少率 (B 社処理品)

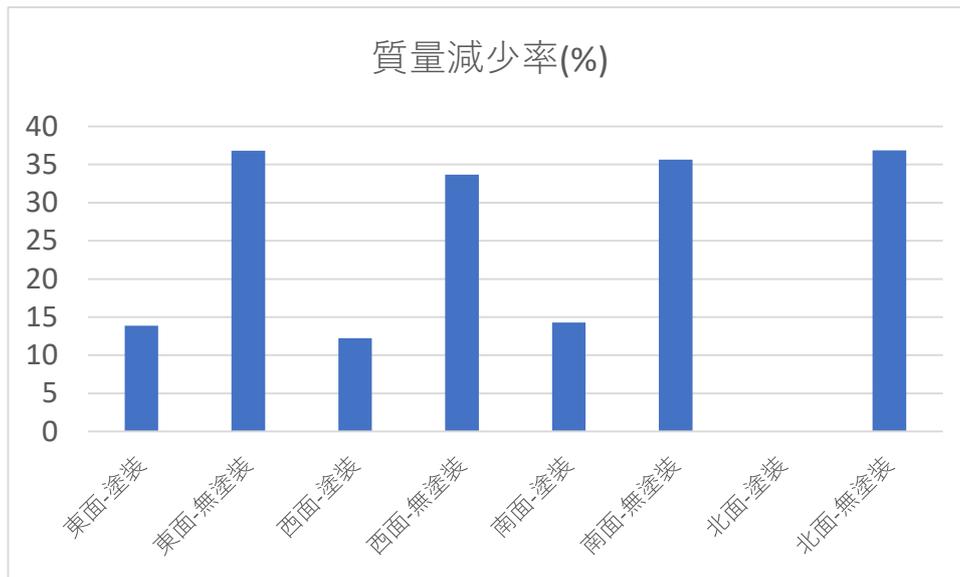


図 2.7-11 暴露 1 年後の質量減少率 (C 社処理品)

図 2.7-9～11 に垂直暴露試験 1 年後の試験片の質量減少率を示す。A 社処理品は含浸形塗装されており、無塗装は無い。暴露方位による質量減少率は北面＝南面＞＝西面＝東面となったが、最大と最小の北面と東面の差は 3%弱であり、方位の違いは少ない結果となった。B 社処理品は、着色造膜塗装と無塗装であったが、質量減少率は塗装処理により大幅に抑制された。この塗装処理では暴露 1 年後では塗膜の劣化が生じていないと思われる。無塗装試験片の質量減少率は、方位では南面＞西面＝北面＝東面となったが、A 社処理品と同様に方位による差は 3%以下であった。C 社処理品は、透明系造膜塗装と無塗装処理であったが、暴露 1 年後において塗装試験片でも 10%以上の質量減少率を示し、無塗装では最高 36%の質量減少を生じた。これは、難燃薬剤が溶脱しやすいものであり、塗装に用いた塗料の耐候性が低いかあるいは難燃処理剤と塗料との相性が悪く塗料の劣化が生じたことが考えられる。特に、用いた塗料が透明系であったため、耐候性が低く薬剤の溶脱防止効果が他の着色形塗料と比較して低い結果となった。尚、C 社処理品では方位による違いはほとんど無かった。

難燃薬剤処理木材の薬剤溶脱は、難燃処理剤自体の雨水による溶脱性の他、塗装の塗膜性能により溶脱の抑制に効果が認められたことから、耐候性の高い着色形の造膜塗料が薬剤溶脱に効果があると考えられる。そのため、今後の塗膜劣化と薬剤溶脱との関係を継続して検討する必要がある。

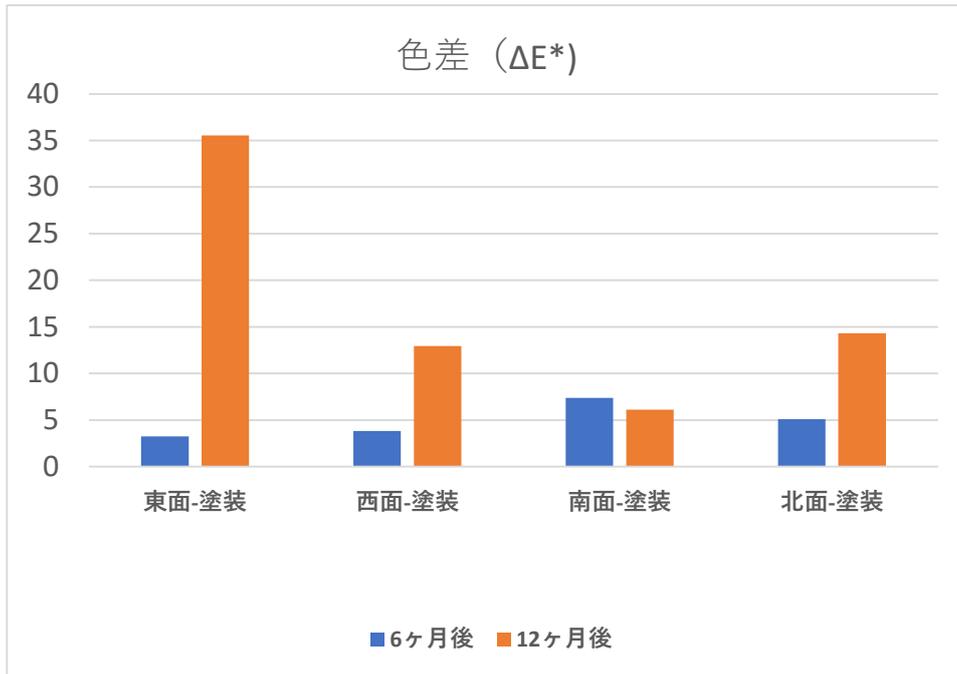


図 2.7-12 暴露 6 カ月後及び 1 年後の色差 (A 社処理品)

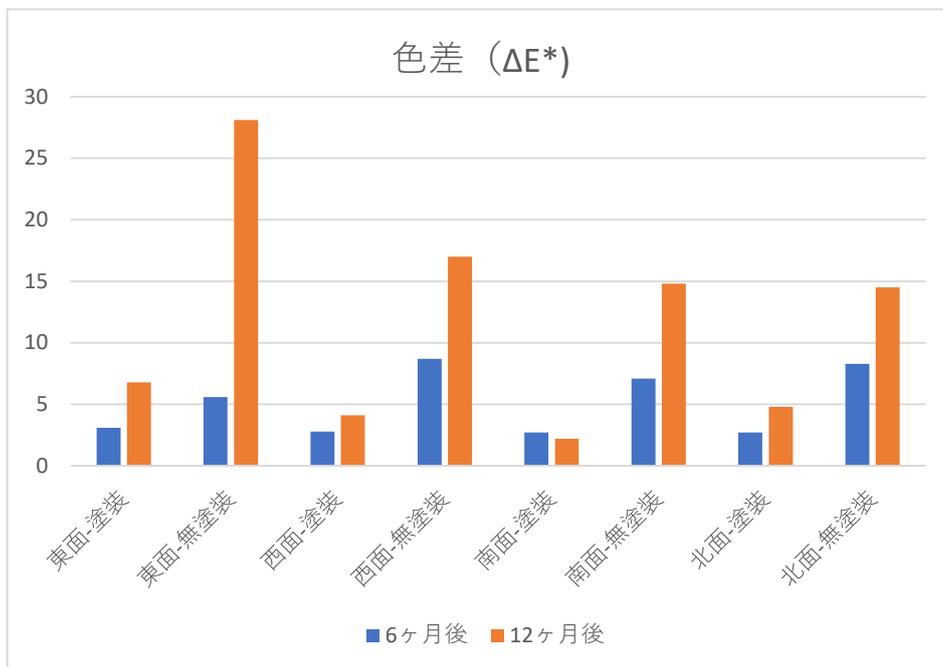


図 2.7-13 暴露 6 カ月後及び 1 年後の色差 (B 社処理品)

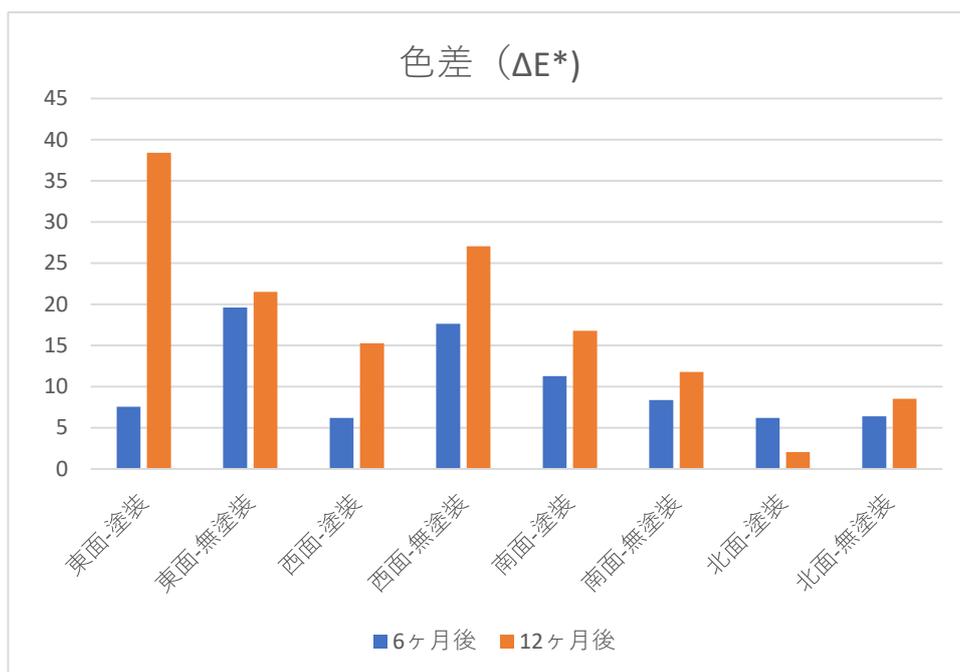


図 2.7-14 暴露 6 カ月後及び 1 年後の色差 (C 社処理品)

2.7.4-3 新規難燃薬剤注入材の耐候性試験

リン酸系新規難燃薬剤を注入した試験片の屋外暴露試験を開始した。試験片は、スギ材を難燃処理したもので、これをエポキシ樹脂で木口面を封鎖後アルミテープを張り付け、木口面からの薬剤の溶脱を防止した。薬剤注入量は $175\sim 180\text{kg/m}^3$ であった。試験片は塗装せずに東西南北垂直暴露架台に各面 3 枚ずつ設置し、質量減少率と表面の色差を経時的に測定する。暴露試験は、日大藤沢キャンパス内の森林科学実験棟屋上において 2024 年 2 月 29 日から開始した。今後、定期的に質量減少率及び色差の測定を行い、暴露方位による薬剤の溶脱性及び表面劣化を気象因子と関連して検討する予定である。写真 2.7-8、2.7-9 に各面に暴露した試験片（各面最上段の横に設置した 3 枚）を示す。



写真 2.7-8 屋外暴露試験の様子（東西面）



写真 2.7-9 屋外暴露試験の様子（南北面）

2.8 紫外線劣化を加味した促進劣化試験（EN927-6）

2.8.1 試験の概要と目的

耐候性の高い塗装等を施した難燃薬剤処理製品は、その塗膜により雨水や蒸気の材内への侵入を妨げることで難燃薬剤の溶脱を防ぐと考えられ、その塗膜の劣化機構として、紫外線による塗膜の損傷、あるいは塗膜と基材との界面が破壊されることで生じる塗膜のはく離が挙げられる。2.2章でも実施した、JIS A 1326 に規定される促進劣化試験は、散水と赤外線照射の繰返しによるものであるため、紫外線による劣化は生じない。同試験方法では、温度変動や乾湿繰返しによる塗膜の劣化は生じるため、紫外線劣化の生じない試験環境下であっても塗装製品の促進劣化はなされている可能性は高いが、長時間の試験データがほとんど見当たらず、そのまま塗装製品に適用する前にさらなる検証が必要である。

一方で、塗装により耐候性を確保した難燃薬剤処理木材の性能を工学的に適切に評価し、公的に屋外使用が可能なものとして流通させたいという要望は強く、これらの試験・評価方法の確立と実装化が待たれている。促進劣化試験として、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、燃えひろがり抑制効果の持続性を確認する試験で必要とする面積を促進劣化させるのはやや困難なことが多い。

そこで本事業では、ある程度の面積の試験材の紫外線劣化実施できる紫外線蛍光灯促進



写真 2.8-1 紫外線蛍光灯促進耐候性試験機

耐候性試験機(Q-Lab社製QUV/Spray)による紫外線蛍光ランプ法促進耐候性試験(EN927-6)を取り上げ、まずは各種難燃薬剤処理製品がこれによりどのように促進劣化されるかを検証することを目的に試験を実施した。

表 2.8-1 試験体一覧

試験体No.	薬剤	薬剤量 [kg/m ³]	塗装処理
A	リン酸アミノ系	124	含浸形アルキド系
B	リン・窒素系	130	造膜形フッ素系
C	リン・窒素系	473	造膜形ウレタン系

2.8.2 試験体・試験方法

表 2.8-1 に試験体一覧を示す。基材はいずれもスギで、試験体寸法は長さ150mm×幅75mm×厚さ18mm、N数は2体とした。各試験体の難燃薬剤、難燃薬剤量、塗装は表中の通りである。塗装面はいずれも木口を除く4面で、両木口はエポキシ樹脂接着剤によりシールした。20°C60%にて2週間養生したのち促進劣化試験に供した。



写真 2.8-2 検証用試験体

促進耐候性試験は、森林総合研究所のQ-Lab社製QUV/Sprayで実施した。試験条件は、EN 927-6に準拠した168時間(24時間の結露→2.5時間のランプ照射+0.5時間の散水の繰り返しを144時間)を1単位とし、それを繰り返すサイクルとなる。現在、劣化試験継続中で、およそ1000時間ごとに試験体を取り出し、60°Cの恒温槽で3週間乾燥させ秤量して質量を求め、薬剤残存率等を算出する予定である。

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回部会を2023年5月8日開催し、全体委員会に向け、事前に事業内容、方法、実施機関、時期等の概要を検討した。これをもとに2023年6月8日に開催した第1回委員会において、事業の目的の確認および試験の実施内容、実施機関、時期、経費等の概要を決定した。その後、試験体作製に係る委員（※）による打合せを2023年6月15日に開催し、各種試験に供する試験体の作製等を確認した。

これに従い、6月から11月にかけて越井木材工業(株)、(株)サイエンス、兼松サステック(株)、(株)プラセラムのそれぞれにおいて難燃薬剤処理木材の試験材を作製した。試験材は、促進劣化試験（JIS A 1326：2019）に供すもの、各種小型燃焼試験に供すもの、紫外線劣化を加味した促進劣化試験に供すもの、屋外暴露試験に追加するもの、等で各社の分担に応じて作成した。

促進劣化試験（JIS A 1326:2019に準じたもの）は（一財）建材試験センター中央試験所にて、難燃処理した試験材料（1種）について8月～12月にかけて実施した。これにより得た劣化後試験材および昨年度促進劣化試験に供した試験材より、ファサード試験用試験体、火炎伝播試験用試験体、ラージコーン用試験体を作製し、それぞれ試験を実施した。建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310:2019）は、（国研）建築研究所にて、これら促進劣化試験後の難燃処理木材（2種）について、その燃えひろがり性状を確認するため実施した（12月）。火炎伝播試験（ISO5658-2）は（一社）電線総合技術センター（JEC TEC）にて、上記促進劣化試験後の難燃処理木材（2種）および低濃度難燃処理木材（1種）について実施した（12月）。低発熱コーンカロリメーター試験（ISO5660-4）は（株）東京システムバックにて、促進劣化試験（JIS A 1326：2019）後の難燃処理木材（1種）および低濃度難燃処理木材（1種）について実施した（12月）。この他、紫外線劣化を加味した促進劣化試験について、森林総合研究所にて、試験方法を検証するために難燃処理木材（4種）を対象に試験を開始した（10月～）。また、屋外暴露試験については、日本大学にて、2020年度より屋外暴露試験に供していた試験体を回収し、重量等を計測。2021年度より開始していた屋外暴露のグループに1種追加した（10月）。

第2回委員会を2024年2月8日に開催し、事業の実施状況および各試験の結果を確認し、課題の抽出、今後の研究方針などについて討議し、事業報告書の作成に向け必要な作業を確認した。CLT等木質建築部材技術開発・普及事業の報告会が2024年3月11日より4月1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、上川大輔主査が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。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

本事業では難燃薬剤処理木材を屋外使用した場合の防火性能に関し、その経年劣化、特に難燃薬剤の雨水による溶脱に伴う防火性能の低下に対する耐久性を合理的かつ短期間で評価する方法、および、このような耐久性を向上させる技術を研究対象としている。本年度の事業では、火炎伝播試験 (ISO 5658-2) 等の小型の燃焼試験法について、試験体数を増やし、その相関性に間違いがないことを確認することと、建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310) による評価を実施し、小型燃焼試験での結果との関係性を整備することを目的とし、促進劣化試験および各種の燃焼試験を実施した。またこの他に、各種難燃薬剤処理木材の屋外使用時の耐久性の解明を目的として本年度以前の事業より継続して実施している屋外暴露試験のほか、主として紫外線による劣化が防火性能の低下に大きな影響を及ぼすと思われる製品に対する促進劣化試験方法を検証する目的として紫外線を照射する機能を持つ耐候性試験機による試験も実施している。以下に、これら本年度実施した各種試験結果の概要を記す。

ホウ酸・リン酸アンモニウム系難燃薬剤で処理し、造膜型ウレタン系塗装を施した試験材 I (薬剤量平均 182.5kg/m^3) および難燃薬剤をリン・窒素系、塗料を造膜形ウレタン系とした試験材 II (薬剤量平均 139.2kg/m^3) に対し、JIS A 1326 に準拠した促進劣化試験を実施した。その結果、促進劣化前後の重量減少率 (劣化前重量ベース) は、試験材 I で 7.8%、試験材 II で 5.4% となった。推定された残存薬剤量は試験材 I で 152.5kg/m^3 、試験材 II で 108.3kg/m^3 、薬剤溶脱率はそれぞれ 16.4%、22.2% であり、難燃薬剤の量としては未だ難燃材料以上の性能が期待される程度残存していることが明らかとなった。促進劣化試験直後の試験材の外観目視観察では、ひび割れ、剥離はいずれも観察されず、溶出物質の有無については、試験材 I の 2 回目の試験材で一部薬剤と思われる溶出物が見られ、試験材 II では溶出物質無しと判定された。

促進劣化させた試験材の燃えひろがり性状の把握を目的とし、これら 2 仕様の試験材 I' (劣化後の試験材 I)、試験材 II' (劣化後の試験材 II) について建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019 を準用) を実施した。いずれの試験体も塗膜の燃焼と思われる試験材表面の火炎が時折り部分的に観測されたが、範囲は限定的で、壁面の燃焼が上部まで及ぶ様子は見られなかった。加熱終了後、無処理の胴縁から生じるわずかな火炎を除いて有炎燃焼はすぐにおさまった。外装表面最高温度の分布をみると、開口上端から 2,000mm の位置での最高外装表面温度は I' で 337°C 、II' で 360°C であり、いずれの劣化後試験体も無処理の木材外装 (同 568°C) と比較して十分に燃焼性が抑制されていることが明らかとなった。いずれも薬剤量に応じた順当な結果であったといえる。また、開口下端よりも下の部分の試験体を省略しても影響がないことも確認した。

上記 2 仕様の劣化後の試験材 I'・試験材 II'、および、過去にファサード試験を実施した低注入材⁷⁾を再現した試験材 III (リン酸アミノ系薬剤 - 50.7kg/m^3 、オイルステイン系塗装) について、火炎伝播試験 (ISO 5658-2) を実施した結果、試験材を縦張としたものでは火炎

伝播距離がそれぞれ 70mm、120mm、270mm、CFE（消炎時の臨界熱流束）がそれぞれ 49.8kW/m²、48.9kW/m²、35.1kW/m² となり、おおむね材内に含まれる薬剤量に応じた結果となった。ただし、試験材Ⅱ'を縦張とした試験体では加熱初期に表面の塗膜が短い時間燃えてすぐほとんど消える、という状況が生じ、他の試験とのずれを生じる結果となった。

試験材Ⅱ'および試験材Ⅲについて低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）を実施し、30 分間の発熱速度・総発熱量の推移などを明らかにした。総発熱量で見ると、30 分間で試験材Ⅱ'は 16.2MJ/m²、試験材Ⅲは 45.6 MJ/m² となり、これらは薬剤量に応じた順当な結果であったといえるが、試験体Ⅱ'では加熱初期にごく短時間ではあるが塗膜の燃焼に伴う大きな発熱が見られた。

これらの試験結果より、ファサード試験と火炎伝播試験、ラージコーン試験結果との関係性を検証した。ファサード試験での開口上端から 2,000mm 上方の外装表面温度の最高値を縦軸、横軸を火炎伝播試験での CFE 値などとしたプロットにおいて、その関係性を示すラインを予測したが、いまだプロット数は少なく、今後特により燃焼性の高い試験材についてのデータがさらに必要であることを示した。

難燃処理試験体の屋外暴露試験に関して、2020 年度より屋外暴露試験に供していた試験体を回収し、薬剤溶脱量の計測、表面変色、白華現象の観察等を行った。その結果、暴露 28 ヶ月後での薬剤溶脱量（質量減少率）は塗装有り 5.0%、塗装無し 6.3%であり、塗装処理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。また、2021 年度より開始していた屋外暴露のグループに 1 種追加した。

3.3 今後の展開

外構材に難燃処理木材を用いた場合の耐候性、劣化後の性能を評価する方法として、促進劣化試験（JIS A 1326：2019）を行ったうえで建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310:2019）を実施する方法、および劣化後の試験体に対するより小型の試験体の燃焼性を評価する数種の燃焼試験を実施してきた。ファサード試験は現状で最も実火災の燃焼性の実態を合理的に評価できる方法であるが、現状では不燃材料等の性能評価の運用体制に組み込まれていないため、今後その体制づくりが必要となっている。

耐候性の性能評価の最終的な理想は、小型の試験体に対する促進劣化および小型の燃焼試験により評価するものであるが、それにはファサード試験と小型燃焼試験との性能値の対応をさらに調査する必要があるほか、合否の判定ラインとなる値を見定める必要がある。これまでの研究より、外壁の燃焼性は比較的少量の難燃薬剤でもかなり低減されることが分かっており、今後、薬剤量が少ない試験体についてのファサード試験、小型燃焼試験のデータをさらに検証する必要がある。

また、塗膜により難燃薬剤の溶脱を抑制する製品については、紫外線劣化を加味した促進劣化試験方法が必要であり、屋外暴露による劣化の測定と合わせこれも今後さらに取り組んでいく課題としている。

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はいるが、促進劣化試験（JIS A 1326）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。そのため、紫外線により防火性能の耐久性が劣化すると考えられる製品を評価するために、現状の JIS A 1326 による方法でどの程度これらの劣化を評価できているかの検証に加え、紫外線照射を組み入れた試験方法での検証をさらに進める必要がある。

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だろう。

以上の様々な試験を進め、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 2024.2.5）.
- 2) 林野庁：森林・林業基本計画、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/>（参照 2024.3.5）.
- 3) 林野庁：森林×SDGs
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/SDGs_shinrin.html)（参照 2024.2.5）.
- 4) 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.
- 5) 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 : 2019、日本規格協会.
- 6) ISO 5658-2:2006: Reaction to fire tests — Spread of flame — Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.
- 7) 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.
- 8) 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(60)、p. 709-714 (2019).

- 9) 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 C L T建築実証支援事業のうち C L T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.
- 10) 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).
- 11) 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).
- 12) 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) .
- 13) 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) .
- 14) 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).
- 15) European Standard: Paints and varnishes –Coating materials and coating systems for exterior wood, Part 6: Exposure of wood coatings to artificial weathering using fluorescent UV lamps and water, EN927-6, 2006.

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および国内森林資源活用・
建築用木材供給力強化対策事業のうち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および
難燃性能の統合的継続評価と相関性の確認

2024年（令和6年）2月

公益社団法人 日本木材保存協会