

令和5年度林野庁補助事業

令和5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 促進劣化試験方法および燃焼試験方法の検討

事業報告書

2025年(令和7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	2
1.2 事業の目的と事業の進め方	3
1.3 事業の実施体制	5
1.4 事業の経過	7
第2章 試験の方法と結果	9
2.1 各種試験の概要	9
2.2 燃焼試験用試験体の作製と調整	10
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）	12
2.3.1 試験の概要と目的	12
2.3.2 ファサード試験 試験体	13
2.3.3 ファサード試験 試験装置と試験方法	14
2.3.4 ファサード試験 試験結果	15
2.4 火炎伝播試験（ISO5658-2）	24
2.4.1 試験の概要と目的	24
2.4.2 火炎伝播試験 試験体	25
2.4.3 火炎伝播試験 試験結果	26
2.5 低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）	31
2.5.1 試験の概要と目的	31
2.5.2 低発熱コーンカロリメーター試験 試験体	31
2.5.3 低発熱コーンカロリメーター試験 試験結果	32
2.6 ファサード試験結果と小型の燃焼試験との関係	35
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）	39
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	39
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	39
2.7.3 暴露試験片と暴露方法	39
2.8 紫外線劣化を加味した促進劣化試験（EN927-6）	56
2.8.1 試験の概要と目的	56
2.8.2 試験体・試験方法	56
2.8.3 試験結果	57

第3章 成果のまとめと今後の展開	59
3.1 実施内容のまとめ	59
3.2 実施結果のまとめ	59
3.3 今後の課題・展開等	61
参考文献	61

はじめに

近年、持続的社會の構築を目的に、環境負荷が低く地球温暖化防止にも寄与する木材、木質材料、とりわけ国産材の利用促進が積極的に進められています。さらに、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を拡大していくことが大切になっています。

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、その用途は室内に限られているのが現状であります。今後、屋外での利用を展開する上では、水溶性である難燃薬剤が徐々に減少していくことを念頭に、長期にわたる耐候性などを考慮した難燃性能の正確な把握が必要です。

そこで本事業では、火災安全上の観点から難燃処理木材が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、屋外使用を想定した各種の条件下での経年的な難燃性能の変化を把握し、適切な評価方法を確立することを目的としました。

最初の事業年度では、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、実大での燃えひろがり試験（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。

次の年度の事業では、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、促進劣化を受けても難燃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。

一昨年度の事業では、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）、低発熱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。

昨年度は、これらの成果を踏まえ、実際の火災の様態に近い建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）と、火炎伝播試験（ISO 5658-2）等の小型の燃焼試験との関係性の検証を進めました。

今年度は、各種の試験方法の相互の関係についてより明らかにするため、特に薬剤量の少ない場合のデータが乏しいことに着目し、試験間の結果の関係をさらに明らかにしていくとともに、試験方法の整備を進めることに取り組みました。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7年2月28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

2010年の「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」制定以降、公共建築物における木材の利用がすすみ、公共建築物の床面積ベースの木造率は法制定時の8.3%から令和元年度には13.8%に上昇した。一方で、民間建築物において非住宅分野や中高層建築物の木造率は低位にとどまっていた。こうしたことを背景として、第204回通常国会において「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律の一部を改正する法律」（令和3年法律第77号）が成立した。これにより「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ている¹⁾。「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。

中高層建築物等の木質化においては、構造躯体や内装にらび外装材や外構材への木材利用も重要となるが、当然ながらそれは建築物としての火災安全性が確保されたものである必要がある。建築物外壁の構造部材としての火災安全性は、建築基準法により耐火性能（非損傷性、遮熱性、遮炎性）が考慮されているが、それは基本的に表面の燃焼性を規制するものではなく、実際に外壁の外側に可燃物を施した耐火建築物で激しいファサード（躯体の外側部分）火災が発生した事例もある。難燃薬剤処理木材の利用は、このような火災時の燃えひろがりや抑制し、建築物外壁や外構材の火災安全性を確保する方法の主要なものとなる。

一方で、難燃薬剤処理木材に用いられる難燃薬剤は基本的に水溶性であるため、屋外での使用においては雨掛かりや日射、乾湿の繰り返しなどにより難燃薬剤が溶脱し、防火性能が低下することが懸念される。この気象劣化に対する難燃処理木材の防火性能の持続性を検証する方法として、JIS A 1326：2019「外装用難燃薬剤処理木質材料の促進劣化試験方法」⁴⁾による促進劣化試験を行ない、それら試験体についてJIS A 1310：2019「建築ファサード

の燃えひろがり試験方法」⁵⁾に規定される燃焼試験により燃えひろがり性状を確認する方法がある。本試験方法は、試験体規模や加熱の強さなどが実際の建築火災に近いため、気象劣化後の難燃処理木材が外壁の燃えひろがりを助長するかどうかを他の燃焼試験より実火災に近い条件で評価することができる。ただし、JIS A 1326:2019 による促進劣化試験においては紫外線による劣化を含まないため、造膜型塗装など紫外線劣化し得る機構にて難燃薬剤の流失を防ぐタイプの製品において妥当な劣化を生じさせられるか不明なことと、試験に用いる試験材の面積が多く必要となることが難点となっている。また、これら JIS の試験方法により、実際の製品の評価を実施する体制の整備も今後の課題となっている。

そのためこれまでに、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の試験方法の検証として、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建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019) (以下、基本的にファサード試験と記載) を行うことを基本として、それに加え種々の小型燃焼試験を行っている。これら小型の試験として、火災成長速度試験 (EN13823)⁶⁾、着火性試験 (ISO 11925-2)⁷⁾、火炎伝播試験 (ISO 5658-2)⁸⁾、標準コーンカロリメーター試験 (ISO5660-1 準拠)⁹⁾、低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠)¹⁰⁾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。昨年度はファサード試験 (JIS A 1310) 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、促進劣化試験 (JIS A 1326) 後の試験体に対するファサード試験 (JIS A 1310) およびそれらに対する火炎伝播試験 (ISO 5658-2)、低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4・ASTME2965 準拠) を行った。しかし、ファサード試験 (JIS A 1310) と小型燃焼試験の関係性を検討するには、難燃薬剤量が少ない場合のデータ数がいまだ足りない状況といえる。

1.2 事業の目的と事業の進め方

前述のように、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も重要であるが、難燃処理などにより火災安全性も確保する必要がある。しかし、難燃薬剤処理木材の耐候性検証には、現状の方法では多くの時間と材料を必要とするため試験の実施数が限られ、信頼されるデータ数が得られていない。将来的には小型の促進劣化試験と燃焼試験により気象劣化後の難燃薬剤処理木材の燃焼性を評価する方法が望まれるが、それには小型の燃焼試験から実際の火災での燃えひろがり性状を予測可能とする必要がある。

これらの背景から、これまで実際の火災の様態に近いファサード試験 (JIS A 1310) と、火炎伝播試験 (ISO 5658-2) 等の小型の燃焼試験との関係性を検証してきたが、それにはデータ数、特に薬剤量の少ない場合のデータが乏しい状況にあるため、今年度の事業ではこれを整備し、試験間の結果の関係を更に明らかにしていくとともに、試験方法の整備を進める。

具体的には、

- ・気象劣化後に難燃薬剤量が減少し防火性能が低下した、燃えひろがりの危険性が比較的高い状況の試験材を、低濃度薬剤溶液の注入により人為的に作製。

- ・これら薬剤量の少ない試験材を中心に火炎伝播試験 (ISO5658-2) 等の小型の燃焼試験と、ファサード試験 (JIS A 1310) による評価を実施し、関係性をさらに整備する。
 - ・紫外線劣化を加味した試験方法について、試験条件の検証、屋外暴露試験との関係解明に取り組む
- という内容となる。

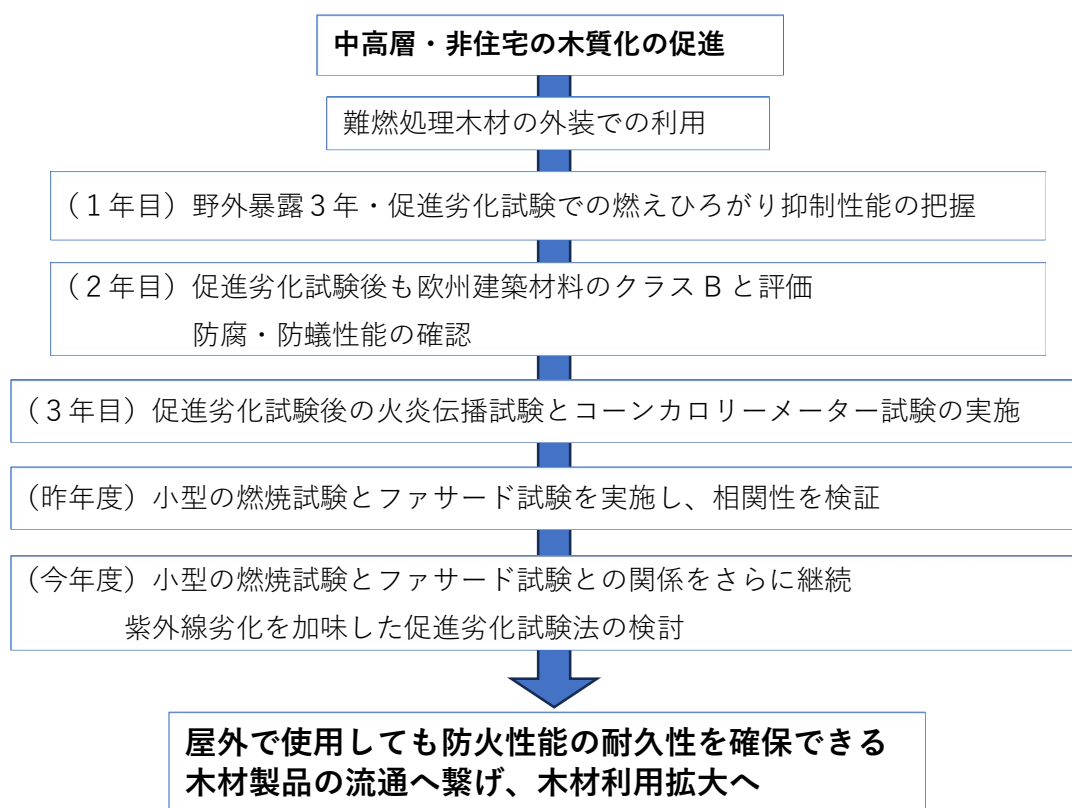


図 1-1 本事業の目的と今後の工程

1.3 事業の実施体制

令和 4 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	
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
事務局	片桐芳男、 小林理恵	公益社団法人日本木材保存協会

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
委員	高瀬 椋	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所
	杉山和正	(株)プラセラム
	山口秋生	越井木材工業(株)
	樋田淳平	(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、 小林理恵	公益社団法人日本木材保存協会

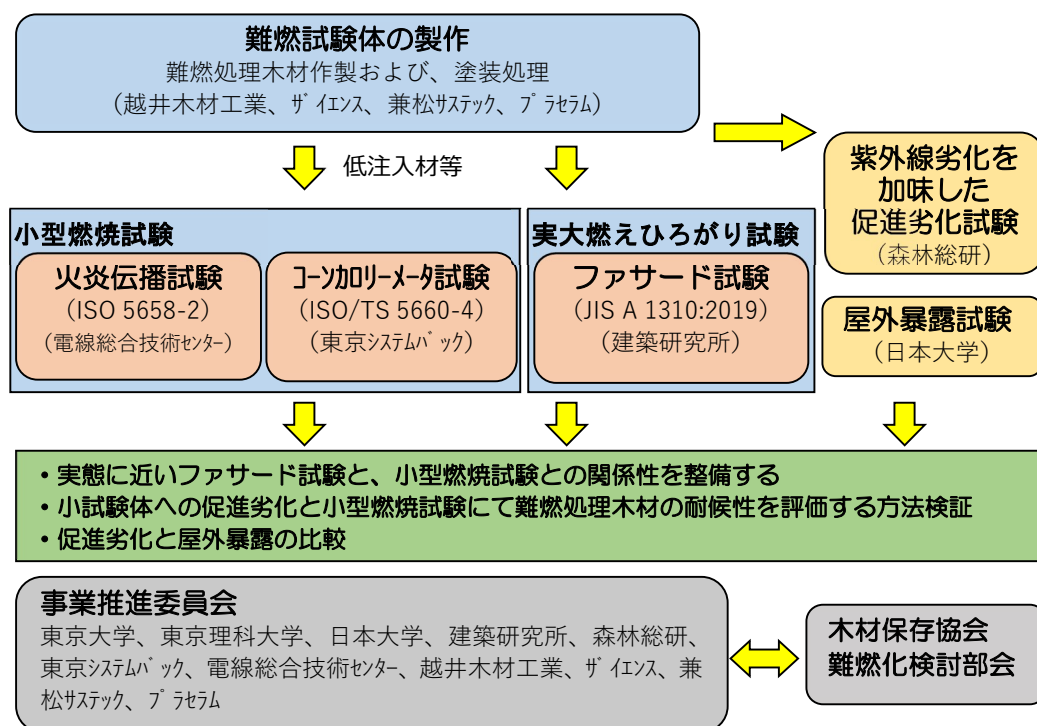


図 1-2 事業における各種試験の実行と関連

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)ガイエンスで行った。

各試験体の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、低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4) は東京システムバック、ファサード試験 (JIS A 1310) は建築研究所で行った。屋外暴露試験は日本大学で、紫外線劣化を加味した促進劣化試験は森林総合研究所にて実施した。

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6年4月25日に木構造振興(株)からの助成金交付金申請承認通知書を受領し、令和6年5月2日に事業請書を提出し、事業を開始した。請負期間は、令和6年5月2日より令和7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 (2024年5月9日、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 (2024年5月13日、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. 委員会での確認内容を基に、濃度を低減した難燃薬剤溶液で処理した難燃処理試験材を担当企業で作製 (2024年8月~11月)。

4. 各種試験の実施

・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 (2024年6月~)。

・屋外暴露試験

2021年度より開始していた屋外暴露のグループ、および昨年度から暴露開始した試験材の屋外暴露を継続、それぞれ重量計測および表面状態の確認などを実施した (2025年1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、難燃薬剤量を少なく調整した試験材 (3種)、通常濃度で処理した未劣化の難燃処理木材 (1種)、無処理のスギ材 (1種) について、実火災に近い状態での燃えひろがり性状を確認するため建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310) を実施した (2024年12月)。

・火炎伝播試験 (ISO5658-2)

(一社) 電線総合技術センター (JECTEC) にて、難燃薬剤量を少なく調整した試験材 (3種)、無処理のスギ材 (1種) について、小型の燃焼試験での燃えひろがり性状を

確認するため火炎伝播試験 (ISO5658-2) を実施した (2024 年 12 月)。

・低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4)

(株) 東京システムバックにて、難燃薬剤量を少なく調整した試験材 (3 種)、無処理のスギ材 (1 種) について、小型の燃焼試験での発熱性状を確認するため低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4) を実施した (2024 年 12 月)。

5. 第 2 回委員会 (2024 年 2 月 6 日、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。

6. WEB 報告会 (予定)

C L T 等木質建築部材技術開発・普及事業の報告会が 2025 年 3 月 10 日~31 日まで WEB で配信される予定となっている。本事業は全 36 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 月上旬に発行される。

7. 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

実際の火災の様態に近い建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）での評価を、小型の燃焼試験結果から導くことを可能とすることを目標として、これまでにファサード試験（JIS A 1310）と、火炎伝播試験（ISO 5658-2）等の小型の燃焼試験との関係性を検証してきた。しかしそれらの関係性を検証するにはデータ数、特に薬剤量の少ない場合のデータが乏しい状況にあるため、今年度の事業ではこれを整備し、試験間の結果の関係を更に明らかにしていくとともに、試験方法の整備を進める。

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 に各種燃焼試験に供した試験材の概要を示す。燃焼試験間の関係性を整備するため、ファサード試験および火炎伝播試験、低発熱コーンカロリメーター試験では同じ試験材を対象として試験を実施した（過去に実施済みの一部項目は除く）。また、屋外暴露試験と促進劣化試験では、昨年度までの試験体に対し引き続き試験を継続した。

本年度取り組んだ各種試験と目的

- 1) 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：実火災に近い状況での燃えひろがり性状の把握

- 2) 火炎伝播試験（ISO 5658-2）

目的：小型試験体による燃えひろがり性状の把握

- 3) 低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）

目的：小型試験体による燃焼性状の把握

- 4) 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

- 5) 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等の促進劣化試験法の検証

表 2.1-1 燃焼試験用試験材

No.	タイプ	薬剤	薬剤量 [kg/m ³]	塗装	備考
A	低注入	リン酸アミノ系	26.1	オイルステイン系	以前に51kg/m ³ で各種試験。本実加工あり。
B _S	低注入表面集積	リン酸系	24.7	なし	
B _R	低注入裏面集積	リン酸系	25.9	なし	
C	通常処理未劣化	ホウ酸・ リン酸アンモニウム系	182.8	造膜型ウレタン系	2023年度に劣化材を ファサード試験
N(9)	無処理木材（9mm）	なし	—	なし	厚さ9mm

※火炎伝播試験、低発熱コーンカロリメーター試験では加工無し。

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。

2.2 燃焼試験用試験体の作製と調整

ファサード試験 (JIS A 1310) と火炎伝播試験 (ISO 5658-2) および低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4) との関係性を検証することを目的に、表 2.1-1 に示す試験材 A、B_S、B_R、C、N(9)を作製しこれら燃焼試験に供した。試験材はいずれもスギ (上小節) を基材とし、N(9)は厚さ 9 mm、それ以外は厚さ 18 mm とし、すべての試験において木おもて側を加熱面とした。

試験材 A は、以前に低注入材としてファサード試験等に供された薬剤量 51 kg/m³ の試験材仕様¹¹⁾を基に、薬剤量をその半分として作製したもので、ファサード試験においては以前の実験と同じく本実加工ありとした。試験材 B_S および B_R は、気象劣化により薬剤量が減った状況において、さらに材内の厚さ方向の薬剤分布が与える影響を把握する目的で意図的に薬剤が偏在するよう調整した試験材とした。これらの薬剤分布の調整は、薬剤注入後の乾燥工程の前に、木おもてを上とした状態で 2 枚重ねで一組として積積みし乾燥させることで行った (図 2.2-1)。これは乾燥時に外表面に向かって難燃薬剤が集積する性質を利用したもので、2 枚組の上を B_S、下を B_R として用いた。乾燥後、試験材内の薬剤分布を蛍光 X 線分析装置にて検証したところ、下図のように B_S では木表側、即ち加熱側に、B_R では木裏側に薬剤が集積していることが確認された。試験材 C は、2022 年度に通常濃度にて薬剤処理したもので、2022 年度にファサード試験以外は実施済¹²⁾みのため、本年度はファサード試験のみとした。試験材 N(9)は、板厚 9 mm の無処理のスギ材で、これまでの試験体より燃焼しやすいものとして設定した。

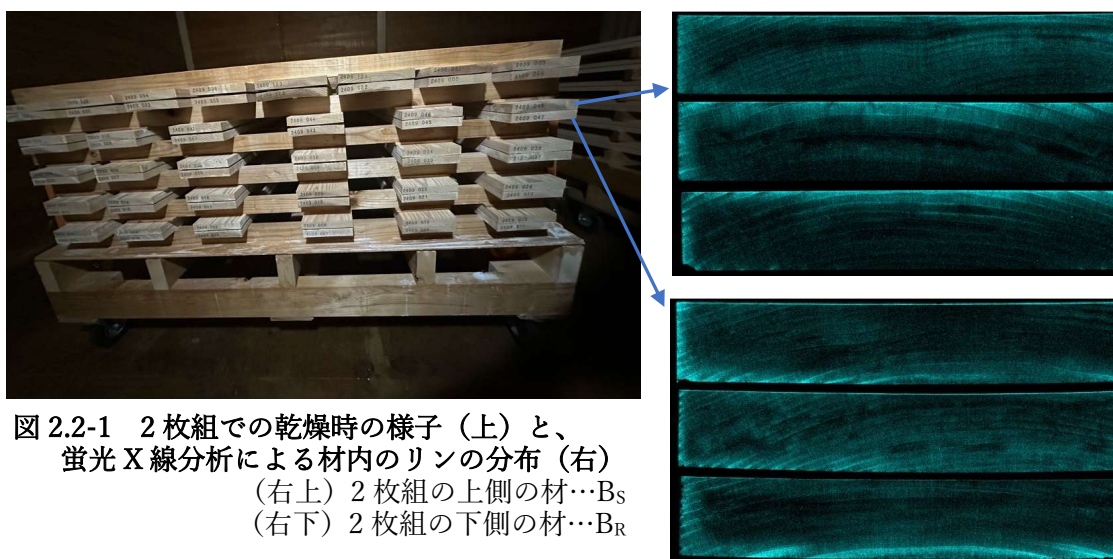


図 2.2-1 2 枚組での乾燥時の様子 (上) と、
蛍光 X 線分析による材内のリンの分布 (右)
(右上) 2 枚組の上側の材…B_S
(右下) 2 枚組の下側の材…B_R

今年度、各種燃焼試験に供する難燃薬剤処理試験材 A、B_S、B_R、C 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 3 社によりそれぞれ作製された（C は 2022 年度に作製）。これらの試験材はいずれも減圧加圧法により難燃薬剤処理された。基材はいずれもスギ材で、試験材 A は長さ 1,980 mm×幅 135 mm（低発熱コーンカロリメーター用のみ 155 mm）×厚さ 21 mm、試験材 B_S および B_R は長さ 2,000 mm×幅 120 mm（低発熱コーンカロリメーター用のみ 150 mm）×厚さ 18 mm、試験材 C は長さ 1,000 mm×幅 125 mm×厚さ 22 mm の基材に対して注入処理を行った。所定の乾燥工程の後、試験材 A、B_S、B_R の火炎伝播用試験材、試験材 B_S、B_R、C のファサード試験用試験材は、120 mm（幅）×18 mm（厚さ）に、試験材 A、B_S、B_R の低発熱コーンカロリメーター用試験材は 150 mm（幅）×18 mm（厚さ）に切削加工した。また、試験材 A のファサード試験用試験材は、厚さを 18 mm としたのち幅 128 mm、働き幅 120 mm となる本実加工がなされた。その後、試験材 A にはオイルステイン系の、C には造膜型ウレタン系の塗装を施した。各試験材の難燃薬剤量は表 2.2-1 に示すように、試験材 A：26.1 kg/m³、試験材 B_S：24.7 kg/m³、試験材 B_R：25.9 kg/m³、試験材 C：182.8 kg/m³（各試験に用いた材の平均乾燥重量）であった。今回、薬剤量を減らした仕様として作製した試験材 A、B_S、B_R の薬剤量は、防火材料で言う難燃材料の性能に必要とされる薬剤のおよそ 1/3 程度の量に相当する。

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「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あぶられた際の建築ファサードの燃えひろがり測定する試験である。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、外壁の耐火性能として求められる非損傷性、遮熱性および遮炎性については本試験で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

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な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。

今年度の本事業においては、薬剤量が少ない場合の燃えひろがり性状の把握を目的として3仕様、通常の薬剤濃度で処理し、未劣化の1仕様、燃えひろがりやすい仕様として厚さ9mmの無処理スギの1仕様の、計5仕様の試験材について試験を実施した。なお、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。



写真 2.3-1 ファサード試験装置外観
(試験体 N(9))

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 12 mm×2 層）を基板として張り、厚さ 15 mm の胴縁（無処理スギ）を固定したうえで、開口以外の部分に各試験材をそれぞれ釘留めして作製した（図 2.3-1）。開口部は内寸 910 mm×910 mm 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 45 mm とし、基板と試験材との間に厚さ 15 mm 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 A、B_S、B_R、C、N(9)のものそれぞれ 1 体ずつ、計 5 体作製し、試験に供した。それぞれの試験体に用いた試験材のタイプ・仕様を以下に示す。

- 試験体 A – 低注入、本実加工タイプ
薬剤：リン酸アミノ系
（推定 25.8 kg/m³）
塗装：オイルステイン系
- 試験体 B_S – 低注入表面集積タイプ
薬剤：リン酸系
（推定 26.6 kg/m³）
塗装：なし
- 試験体 B_R – 低注入裏面集積タイプ
薬剤：リン酸系
（推定 27.7 kg/m³）
塗装：なし
- 試験体 C – 通常処理未劣化タイプ
薬剤：ホウ酸・リン酸アンモニウム系
（推定 183.1 kg/m³）
塗装：造膜型ウレタン系
- 試験体 N(9) – 無処理スギタイプ
薬剤：なし
塗装：なし

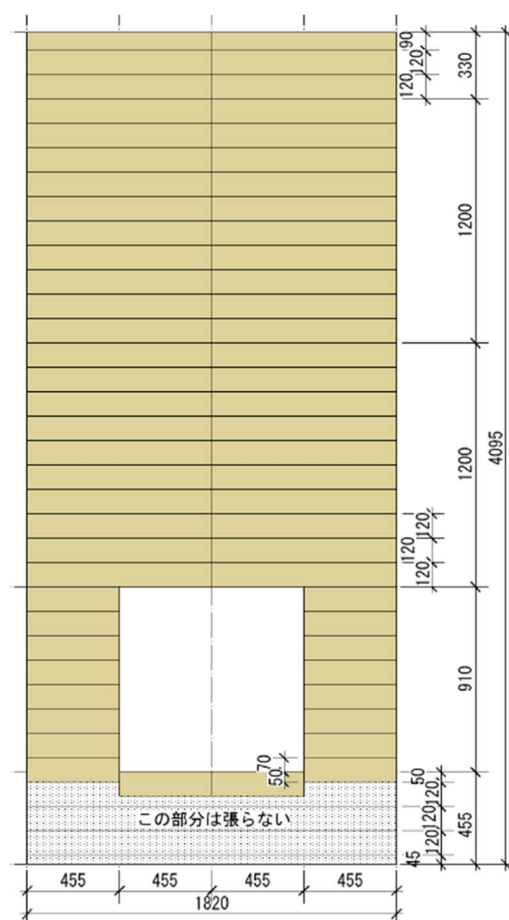


図 2.3-1 ファサード試験試験体図

最外層となる試験材は概ね長さ 920 mm（開口部横は長さ 455 mm）×幅 120 mm×厚さ 18 mm（N(9)は厚さ 9 mm）で横張とし、開口より上の部分では左右の中央に目地を設けた。開口の下端よりも下の部分については、過去の無処理木材でのファサード試験や昨年度の試験においても燃焼せず、上部の燃えひろがりへの影響はないと判断されたことから今

年度の試験体においても省略した。試験体 A では、試験材の上下方向の目地は本実加工、そのほかの試験材の側面、端部にはさね加工等はせず、突付けとした。張り付けた試験材は、開口直上に最も難燃薬剤量が少ないもの、そこから上に行くほど順に薬剤が多くなるよう配置した。使用した試験材それぞれの平均含水率は、A：9.3 %、B_S：4.1 %、B_R：3.5 %、C：8.3 %、N(9)：11.6 %であった。

2.3.3 ファサード試験 試験装置と試験方法

試験装置は、JIS A 1310 に従い、架台に試験体を設置したものと燃焼チャンバーで構成した。燃焼チャンバーは、内寸で高さ 1,350 mm×幅 1,350 mm×奥行 1,350 mm で、床面に 600 mm 角のバーナーを備えている。バーナーの燃料は LP ガス（JIS K 2240 に規定する 1 種 1 号）である。事前にケイ酸カルシウム板のみで構成した試験体に対するブランク試験を実施し、開口上端から 900 mm 上方および 1,500 mm 上方での試験体表面への平均熱流束がそれぞれ $30 \pm 5 \text{ kW/m}^2$ 、 $15 \pm 5 \text{ kW/m}^2$ となるよう LP ガスの流量を調整した。その結果から、本試験でのチャンバー内での発熱速度を 900 kW とすることとした。

試験では試験体左右中央において、試験体外装表面温度、外装より 50 mm 離れた位置の温度、試験体上部および対向面での入射熱流束を、中央より左右 255 mm のラインにおいて中空層内の温度を計測した。各計測点の位置を図 2.3-2 に示す（中空層内の電対は非表示。外装表面とおなじ高さで計測）。加熱時間は 20 分間で、加熱終了後、更に 5 分間計測を続けた。試験体が十分に冷却された後、焼損状況を確認して写真撮影および炭化状況の確認を行った。

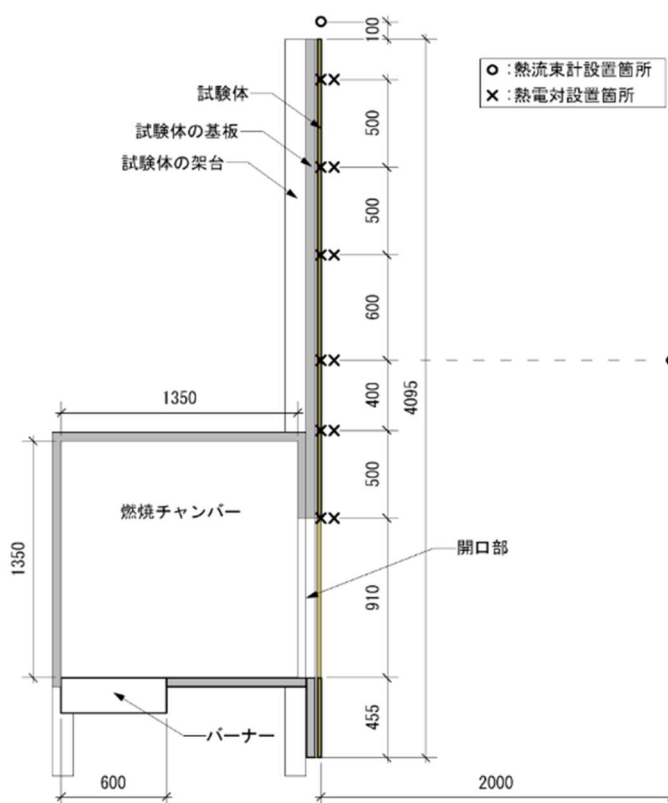


図 2.3-2 試験装置断面と計測位置

2.3.4 ファサード試験 試験結果

写真 2.3-1～2.3.-3 に加熱開始 2 分後の各試験体の様子を示す。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。試験体 A では、20 秒ほどで開口直上の外装材に着火し、噴出火炎の主流とは別に外装表面に火炎が形成され、強弱を繰り返しつつ開口上方へと着火部分が拡大していく様子が見られた。また、横目地の部分からの細かい火炎が目立った。表面に沿った火炎は 1 分 30 秒経過時前後に開口上部 2m 程度まで広がったのち、上部では一旦見られなくなり、その後は時折り上部まで広がってはまた消失するのを何度か繰り返した。試験体 B_S でも 20 秒前後より開口直上の外装材に着火し、試験体 A と同様に着火範囲が徐々に上方へと拡大していったが、上方への燃えひろがり試験体 A よりも遅く、試験開始から 3 分 30 秒程度で開口上部 2m 程度に達して以降は上方へ着火範囲拡大はあまり見られなかった。横目地からの発炎は目地のない部分と差がない程度であった。試験体 B_R では、開口直上の外装材への着火が約 15 秒程度とやや早く、その後約 1 分程度で開口上部 2m 程度まで広がり、上方への着火範囲の拡大もやや短時間で生じた。また、開口上端付近の水平方向への燃えひろがりもかなり早い段階で生じていた。横目地からの発炎は目地のない部分と差がない程度であった。試験体 C では、20 秒ほどで開口直上の外装材へ着火するものの上方への燃えひろがり非常に緩慢で、加熱開始 1 分ほどで外装材からの連続的な発炎はほとんど見られなくなった。試験体 N(9)では、加熱開始 15 秒程度で開口直上の外装材に着火し、50 秒ほどで開口上部 2m 付



写真 2.3-1

ファサード試験 加熱中の様子 (約 2 分経過時) (左: 試験体 A、右: 試験体 B_S)



写真 2.3-2
ファサード試験 加熱中の様子 (約 2 分経過時) (左：試験体 B_R、右：試験体 C)

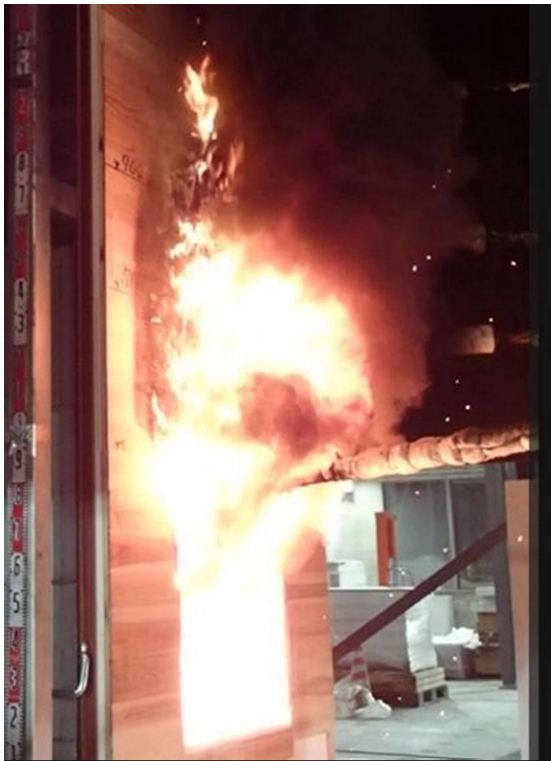


写真 2.3-3 ファサード試験 加熱中の様子
(約 2 分経過時) (試験体 N(9))



写真 2.3-4 ファサード試験 加熱中の様子
(約 9 分経過時) (試験体 N(9))



写真 2.3-5 ファサード試験 加熱終了時（左：試験体 B_R、右：試験体 C）

近まで着火範囲が拡大、さらにそれは加熱開始 1 分 20 秒ほどで試験体上端（開口上部 2.53 m）まで到達した。その後、試験開始 2 分程度で試験体 A と同じように一旦外装表面の火炎は開口上端から 1.5 m 付近までの範囲となり、試験開始 3 分程度で再び上部まで発炎範囲が拡大した。その後も同様な強弱をしつつも徐々に開口直上付近から燃え尽きて発炎しない領域が広がり、試験開始 7～8 分ごろからは噴出火炎の外縁部で時折り外装材からの火炎が分離して燃焼する様態となった（写真 2.3-4）。その後、試験開始 12 分前後となると開口上部の外装材は多くが燃え落ち、その左右に残存している材からも発炎がほぼ見られなくなったため、試験体 N(9)については試験開始 15 分で加熱終了とした。写真 2.3-5 に加熱終了後の試験体の様子の例を示す。

いずれの試験体も加熱終了後、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 1 分程度でおさまった。また、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。最も燃えやすいと言える試験体 N(9)において、試験直後の試験体開口部周囲を観察しても（写真 2.3-6）、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、溶融や落下物の長時間の燃焼が生じないような条件であれば、開口下端よりも下の部分の試験材を省略しても燃えひろがりに影響がないことを再確認した。



写真 2.3-6 試験後の開口部周囲の様子（試験体 N(9)）

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、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。試験後の試験体写真と燃え抜け範囲および炭化範囲を図 2.3-3～図 2.3-7 に示す。

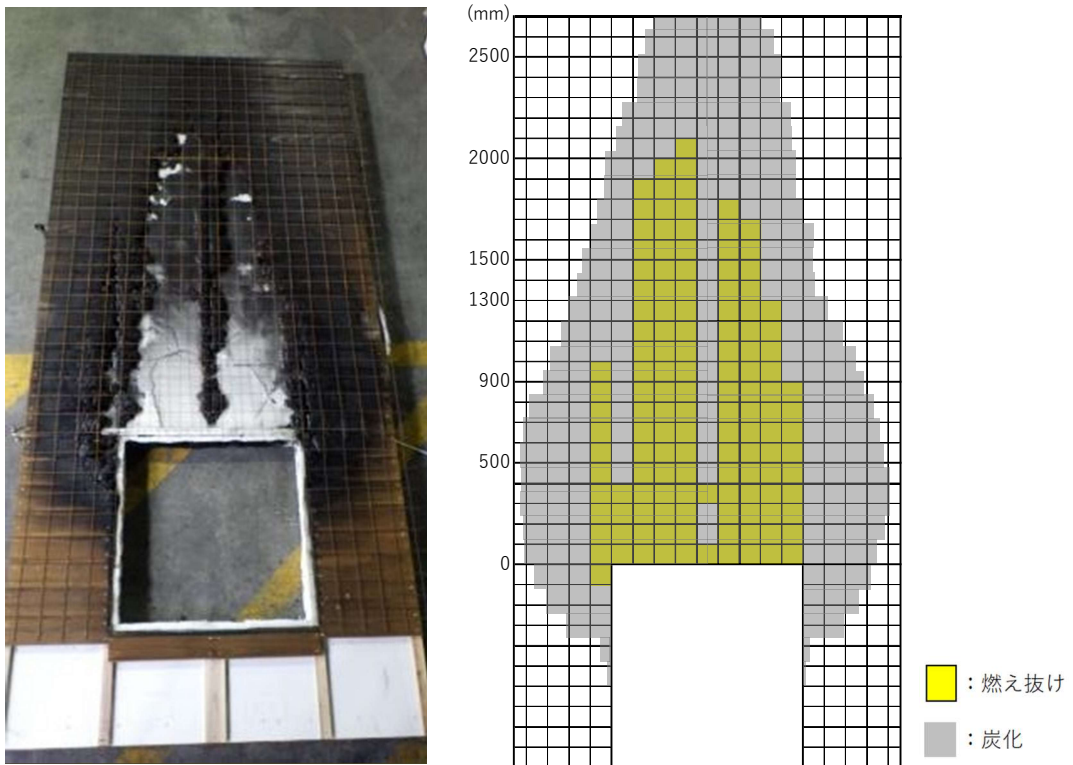


図 2.3-3 試験後の試験体正面写真と炭化・燃え抜け状況（試験体 A）

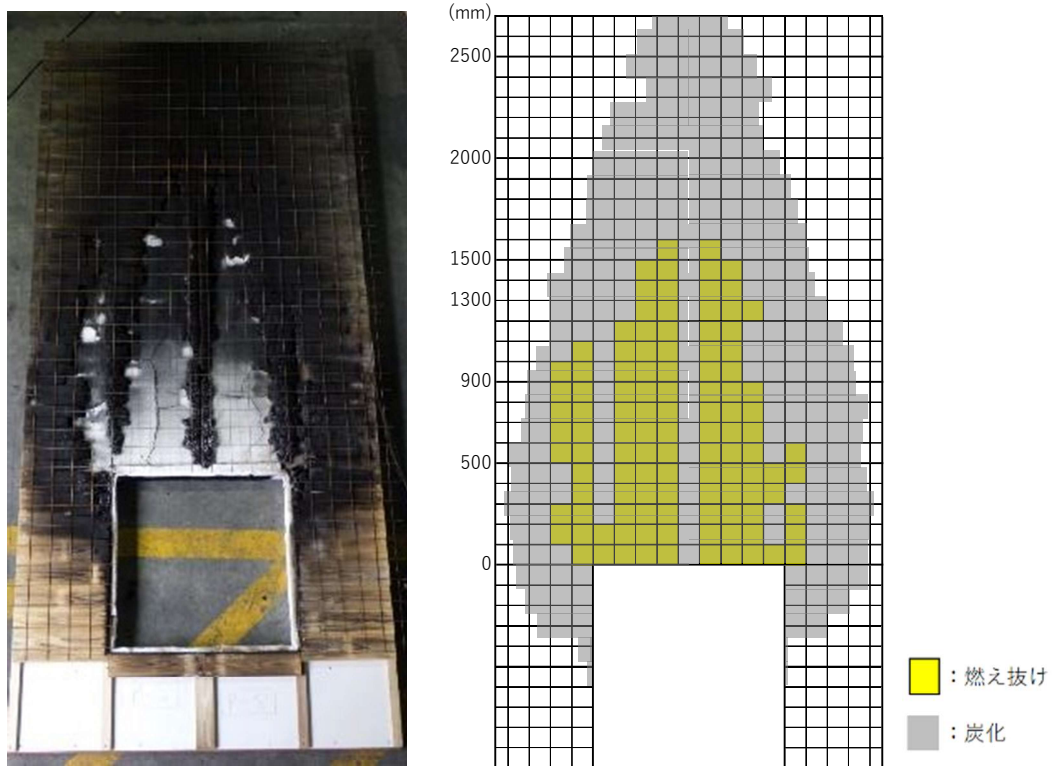


図 2.3-4 試験後の試験体正面写真と炭化・燃え抜け状況（試験体 B_S）

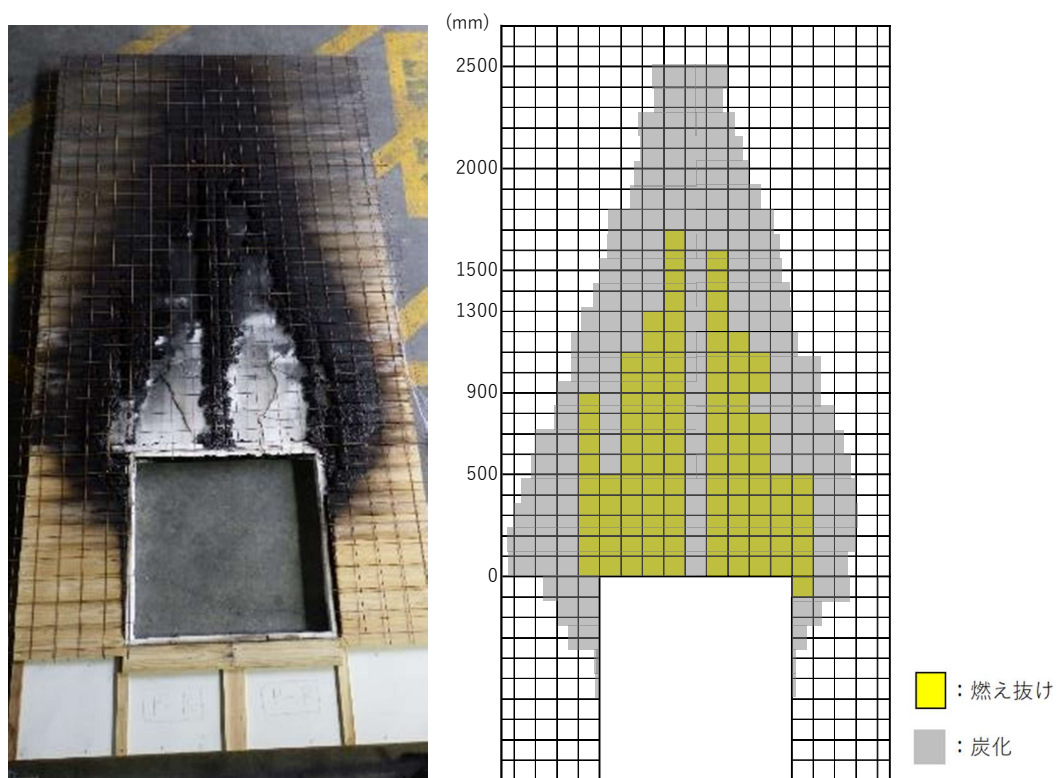


図 2.3-5 試験後の試験体正面写真と炭化・燃え抜け状況（試験体 B_R）

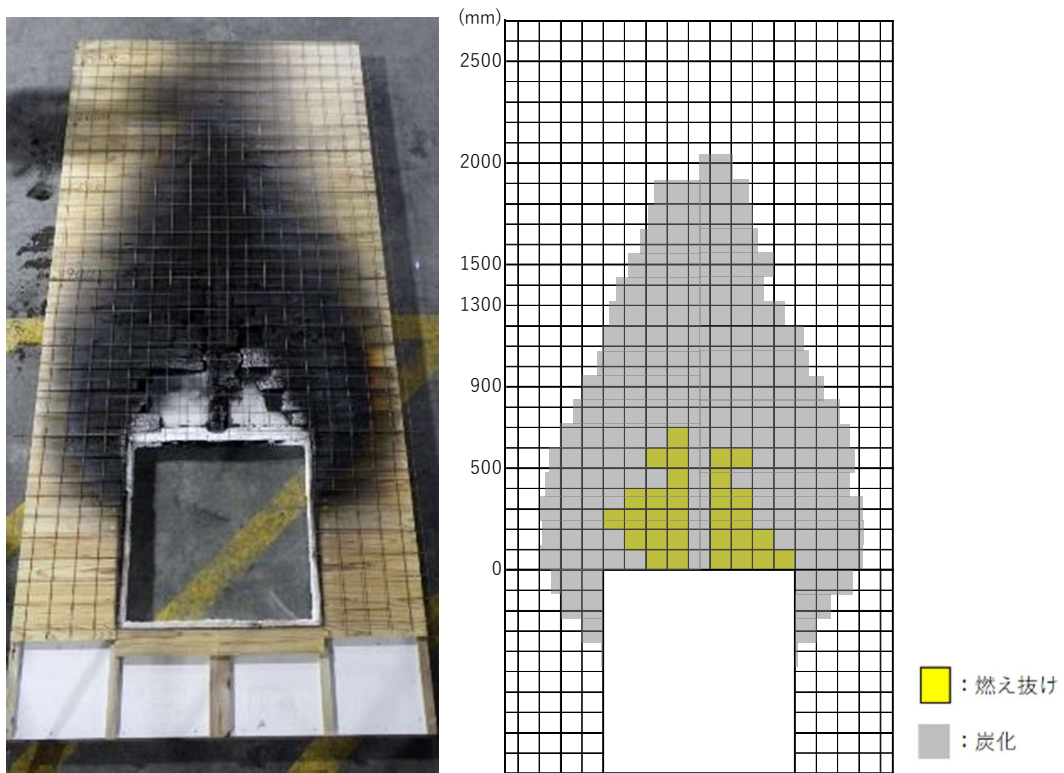


図 2.3-6 試験後の試験体正面写真と炭化・燃え抜け状況（試験体 C）

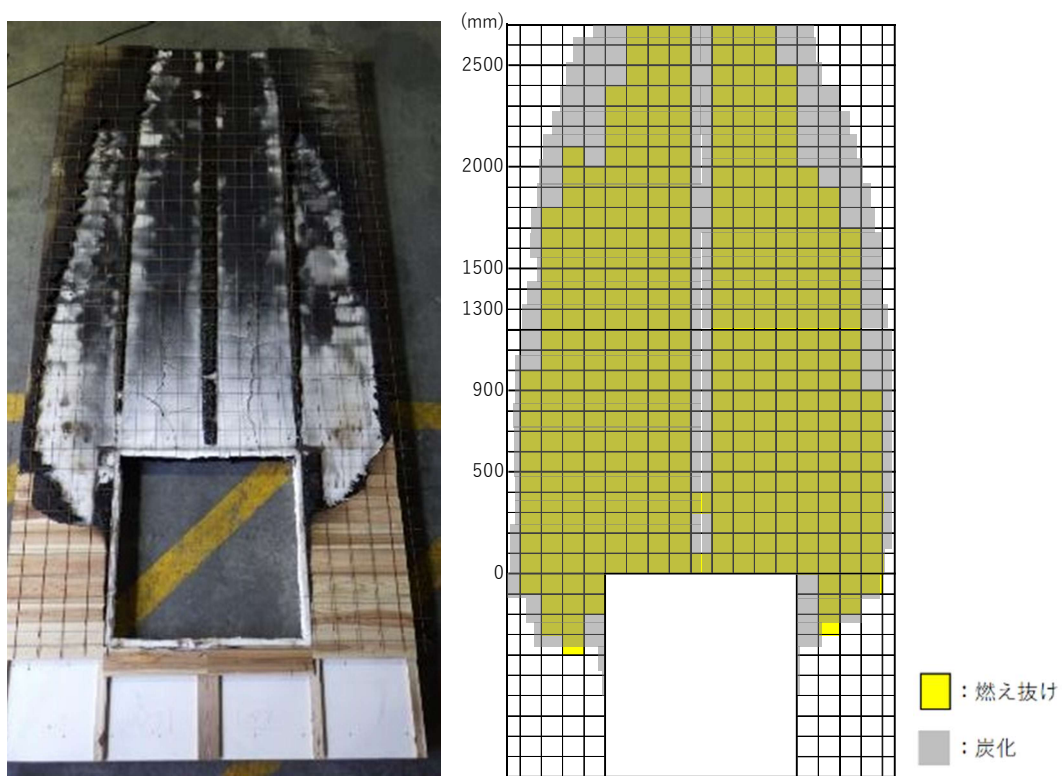


図 2.3-7 試験後の試験体正面写真と炭化・燃え抜け状況（試験体 N(9)）

燃え抜けは、試験体を 100 mm 角のマスで区切り、そのマスの半分以上の面積が燃え抜けた部分を燃え抜け領域として描写している。試験後の試験材表面のススを除去し、炭化状況を見ると試験体 A、B_S、N(9)では試験体上端（開口上端より 2,730 mm）まで炭化が到達していた。試験体 B_Rでの最高炭化到達高さは開口上端より 2,520 mm、試験体 C では 2,040 mm であった。

試験時の外装材の燃焼の様子と試験後の観測結果を総合的にみると、やはり無処理の N(9)は最も燃焼が激しく、その他の難燃薬剤処理がなされたものは燃えひろがりがかかなり抑制されていた。試験体 A では前述のように横目地からの火炎が燃えひろがりに影響したように考えられた。B_Sと B_Rを比較すると、予測に反して B_Sの方が表面の細かい火炎が目立ち、試験後の炭化範囲を見ても B_Sの方が広い範囲で炭化が生じていた。単純に炭化状況から見ると、燃えひろがりの危険性は概ね、C<B_R<B_S<A<N(9)のようになる。ただし、炭化範囲が即ち着火した範囲ではないこと、難燃薬剤が含まれていると炭化温度が低くなることから、同じ加熱でも表面に薬剤の多い B_Sでは B_Rと比較して炭化領域が広めになる可能性がある。また、加熱初期の着火範囲の拡大速度は B_Sよりも B_Rの方が明らかに大きい。

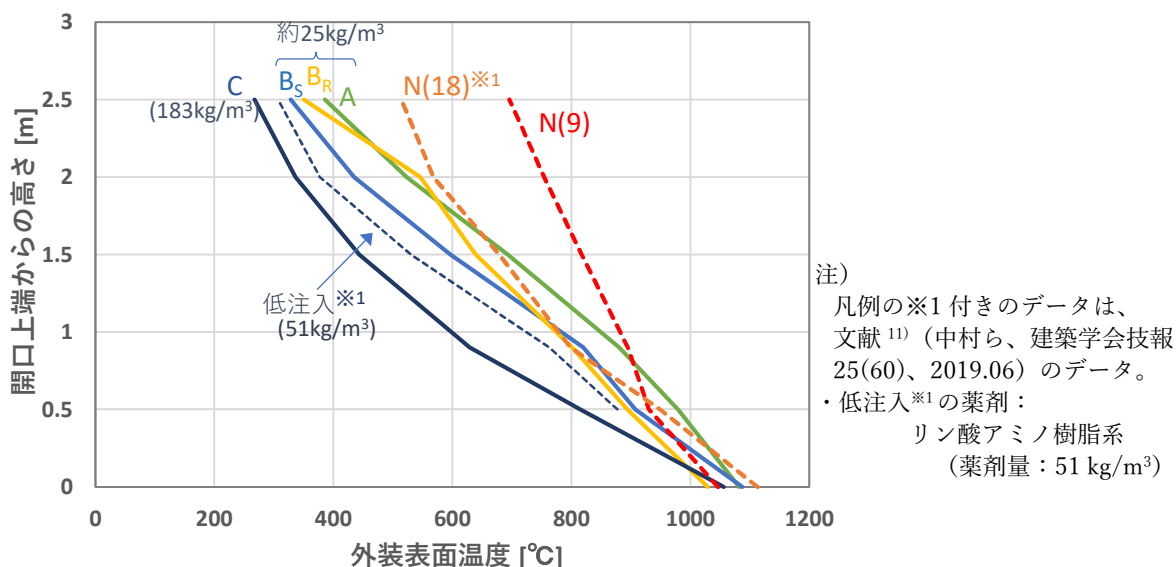


図 2.3-8 仕様ごとの外装表面最高温度の分布

図 2.3-8 および表 2.3-1 に、ファサード試験における各仕様での外装表面最高温度を示す。図 2.3-8 中には比較のため既往のファサード試験から、難燃薬剤量を 51 kg/m³とした場合（低注入^{※1}）、および、厚さ 18 mm のスギ無処理材（N(18)^{※1}）の結果¹¹⁾も記載している。まず N(18)^{※1}と N(9)を比較すると、N(9)の方が高い温度となっており、板厚を薄くしたことで燃焼性がかなり増加したことが分かる。今回の、薬剤量をおよそ 25 kg/m³とした A、B_S、B_Rを比較すると、外装表面最高温度は B_S<B_R<A の順になっており、試験後の炭化状

況から見た順番とは異なっている。ファサード試験において燃えひろがり評価の一つの基準としている、開口上端からの高さ 2m での温度を見ると A、B_R、無処理で 500°C を超えている。B_S は試験時の所見に反し、開口上端からの高さ 2m での温度は低かった。また、JIS A 1310 の解説や既往文献¹³⁾によると、燃えひろがりの危険性の判定には 500°C 以上となる継続時間も考慮されていることから今回の結果を見ると（表 2.3-1）、500°C 以上の継続時間は A では 68 秒、B_R では 10 秒程度であり、2m での最高温度自体は B_R の方が高かったが、継続時間の差を考えると総合的に A よりも B_R の方が延焼性が低いのではないかと考えられる。A で全体的に外装表面最高温度が高い原因としては、試験時の燃焼の様子にも見られたように本実加工とした横目地の燃焼が考えられる。図 2.3-9 は試験材 A の断面への蛍光 X 線分析により、難燃薬剤の主成分であるリンの分布を示したものである。難燃薬剤は木表、木裏側の表面に概ね同程度に偏って分布しており、横目地部分の切り欠きにより材厚中央付近の難燃薬剤の少ない部分が一部表面に露出することになり、それが目地部分の燃焼が

表 2.3-1 ファサード試験での高さごとの外装表面最高温度

試験体	各高さでの最高温 [°C]						2mで500°C 超の時間 [s]
	0m	0.5m	0.9m	1.5m	2m	2.5m	
A	1081.8	979.4	879.8	692.8	522.7	385.2	68
B _S	1087.1	907.1	819.9	596.4	434.3	328.4	—
B _R	1028.9	894	801.1	638.7	545.9	349.8	10
C	1055.9	815	628.7	443.3	336.4	266.9	—
N(9)	1046.5	930	894.7	817.1	754.2	695.9	542
N(18) ^{*1}	1112.6	948.7	798.4	678.9	568.2	513.9	112

※1 中村ら、建築学会技報25(60)、2019.06

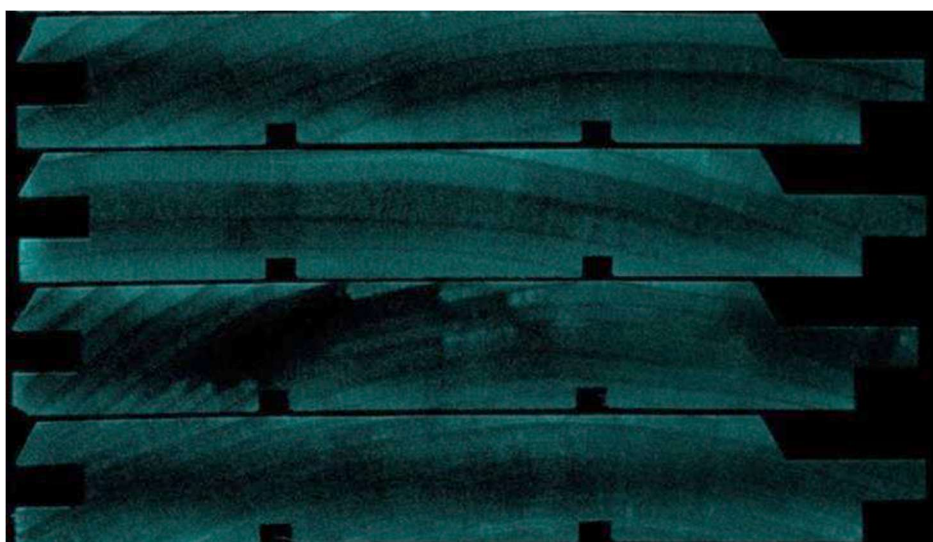


図 2.3-9 試験材 A 断面内のリン元素の分布
(明るい水色ほどリンが多く含まれる)

目立った要因であった可能性が高い。また、本実部分は厚さ方向に 3 分割されていることとなり、その境界で多少裏面側への熱移動が阻害されることで加熱側の温度が上昇しやすい、という影響があったことも考えられる。

また、いずれにしても、開口上端からの高さ 2m での外装表面温度 500°C という基準は、いくつか考えられる燃えひろがりを助長するものとしての判定基準としては厳しい値であり、そのことから考えると、今回試験した A、B_S、B_R のように薬剤量がかなり少ない状態であっても外壁の上階への燃えひろがりの危険性はさほど高くはないと言える。

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。試験体寸法は高さ 155 mm×幅 800 mm で、裏面にアルミ箔とケイ酸カルシウム板を設置した状態でステンレス製ホルダーに固定し試験に供した。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。火炎の伝播距離は、最も放射熱パネルに近い試験体端部から、試験体の上下中央のライン上に火炎が生じた点までの水平距離である。試験の測定項目を表 2.4-2 に示す。



図 2.4-1 火炎伝播試験装置

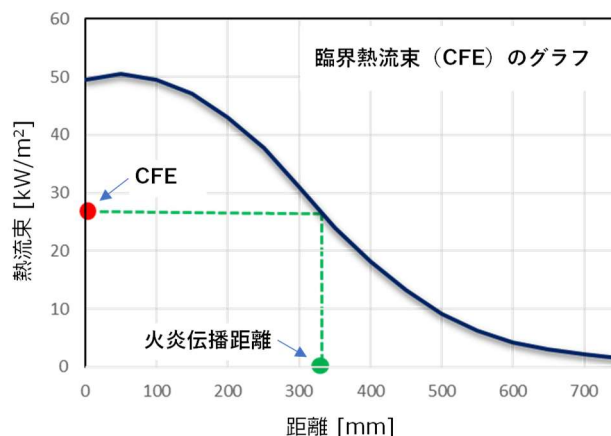


図 2.4-2 試験体位置と加熱強度の関係

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

火炎伝播試験に供した試験体の概要を表 2.4-3 に示す。各仕様とも繰り返し数は 3 体で、表中の数値は平均値である。今年度の事業では昨年度と同様に、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とし、ファサード試験と同じ仕様の試験材 A、B_S、B_R、N(9)からなる試験体について試験を実施した（試験材 C については 2022 年度に実施済み）。2022 年度の試験結果にて、試験材の設置方向が縦張（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、いずれの試験体も縦張配置とし、繊維方向 155 mm、幅 120 mm の試験材を横に並べ、800 mm × 155 mm の試験体とした（放射熱パネルから最も遠い側で試験材の幅を調整）。いずれも目地は突付けで、厚さは N(9)は 9 mm、それ以外は 18 mm であった。試験は（一社）電線総合技術センターにて実施した。

表 2.4-3 火炎伝播試験 試験体仕様

No.	タイプ	薬剤	塗装	薬剤量 [kg/m ³]	含水率 [%]	備考
A	低注入	リン酸アミノ系	オイル ステイン系	27.0	8.9	以前に51kg/m ³ で各種試験。
B _S	低注入表面集積	リン酸系	なし	24.1	6.0	
B _R	低注入裏面集積	リン酸系	なし	23.0	5.8	
N(9)	無処理スギ (9mm)	なし	なし	—	9.2	厚さ9mm

2.4.3 火炎伝播試験 試験結果

表 2.4-4 に火炎伝播試験の試験結果概要を、表 2.4-5～表 2.4-8 に各仕様の結果詳細を示す。表 2.4-4 中には、比較のため 2022 年度に実施した試験材 C と、厚さ 18mm の無処理スギ N(18)のデータ¹²⁾も記載した。低薬剤量とした A、B_S、B_Rを比較すると、火炎伝播距離は A (356.7 mm) < B_S (366.7 mm) < B_R (435.0 mm) の順となった。ファサード試験では A が最も燃えひろがりやすい結果であったが、この差は火炎伝播試験の試験材 A においては目地加工なしだったことが影響していると考えられる。B_Sと B_Rの関係性はファサード試験での外装表面最高温度の結果と合致している。無処理の N(9)と N(18)を比較すると、火炎伝播距離は 546.7 mm と 535.0 mm で、板厚の薄い N(9)の方が大きい。ファサード試験での両者の差を考えると火炎伝播試験では違いが小さく評価されているといえる。

試験中の様子を観測した所感から、火炎の燃えひろがり試験体表面の小さい範囲の比重や薬剤量のばらつきの影響を受けることが考えられた。天然素材である木材を基材とした難燃処理材では早材・晩材の密度差があるため、特に燃焼面が板目の場合はその影響が大きい可能性がある。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、

表 2.4-4 火炎伝播試験結果概要

試料名	No.	CFE [kW/m ²] ^{※1}	火炎伝播距離 [mm]	Qsb [MJ/m ²] ^{※2}
A	1	25.5	340.0	0.372
	2	21.6	370.0	0.265
	3	22.9	360.0	0.491
	平均	23.3	356.7	0.376
B _S	1	22.9	360.0	0.370
	2	26.8	330.0	0.534
	3	16.9	410.0	0.512
	平均	22.2	366.7	0.472
B _R	1	14.7	430.0	0.409
	2 ^{※4}	20.4	380.0	6.479
	3	13.7	440.0	0.604
	平均	14.2	435.0	0.507
C ^{※3}	1	42.1	210.0	0.755
N(9)	1	5.5	560.0	0.674
	2	7.5	520.0	0.747
	3	5.5	560.0	0.675
	平均	6.2	546.7	0.699
N(18) ^{※3}	1	6.8	530.0	0.963
	2	6.3	540.0	1.017
	平均	6.6	535.0	0.990

※1 CFE：消火時の臨界熱流束

※3 2022年度データ

※2 Qsb：持続燃焼のための平均熱量

※4 試験体の不備により平均から除外

試験後写真において、例えば試験材 A の No.13 については写真では 530 mm 付近まで炭化しているように見えるが、火炎は 340 mm 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 2.4-5 火炎伝播試験 結果詳細 (試験材 A)

項目	No.13	No.25	No.55	
測定点までの到達時間 (秒)	50 mm	4	4	5
	100 mm	6	4	6
	150 mm	6	4	6
	200 mm	7	4	7
	250 mm	10	7	16
	300 mm	17	14	25
	350 mm	-	21	26
	400 mm	-	-	-
	450 mm	-	-	-
	500 mm	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)	340	370	360	
CFE (kW/m ²)	25.5	21.6	22.9	
Qsb (MJ/m ²)	0.372	0.265	0.491	
着火時間 (秒)	3	2	5	
消火時間 (秒)	消火せず	消火せず	消火せず	
試験時間 (秒)	1800	1800	1800	

表 2.4-6 火炎伝播試験 結果詳細 (試験材 B_S)

項目	No.38	No.114	No.106	
測定点までの到達時間 (秒)	50 mm	7	6	9
	100 mm	7	7	9
	150 mm	8	8	10
	200 mm	8	12	11
	250 mm	11	14	13
	300 mm	11	23	17
	350 mm	27	-	25
	400 mm	-	-	744
	450 mm	-	-	-
	500 mm	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)	360	330	410	
CFE (kW/m ²)	22.9	26.8	16.9	
Qsb (MJ/m ²)	0.370	0.534	0.512	
着火時間 (秒)	4	5	7	
消火時間 (秒)	消火せず	消火せず	消火せず	
試験時間 (秒)	1800	1800	1800	

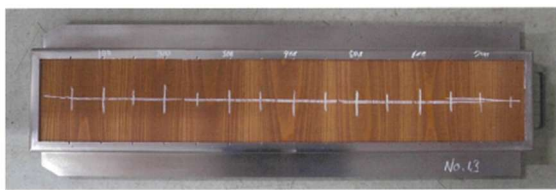
表 2.4-7 火炎伝播試験 結果詳細 (試験材 B_R)

項目		No.3	No.37 ^{*1}	No.111
測定点までの到達時間 (秒)	50 mm	4	7	8
	100 mm	5	8	9
	150 mm	5	10	10
	200 mm	7	11	11
	250 mm	10	23	14
	300 mm	13	24	19
	350 mm	22	1250	30
	400 mm	34	-	47
	450 mm	-	-	-
	500 mm	-	-	-
火炎伝播距離 (mm)		430	380	440
CFE (kW/m ²)		14.7	20.4	13.7
Qsb (MJ/m ²)		0.409	6.479	0.604
着火時間 (秒)		1	4	3
消火時間 (秒)		消火せず	消火せず	消火せず
試験時間 (秒)		1800	1800	1800

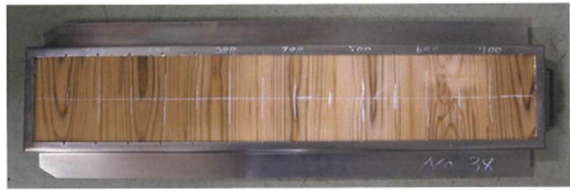
※1 試験体の不備により平均から除外

表 2.4-8 火炎伝播試験 結果詳細 (試験材 N(9))

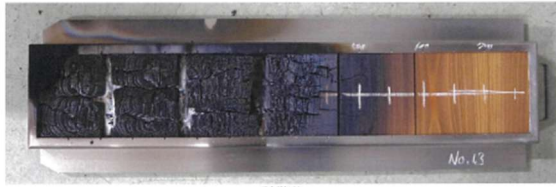
項目		No.4+40+58	No.4+40+42	No.4+40+62
測定点までの到達時間 (秒)	50 mm	6	8	7
	100 mm	8	9	10
	150 mm	9	10	11
	200 mm	12	13	13
	250 mm	17	17	17
	300 mm	22	24	20
	350 mm	33	43	31
	400 mm	55	58	54
	450 mm	93	79	81
	500 mm	137	164	183
	550 mm	221	-	204
	火炎伝播距離 (mm)		560	520
CFE (kW/m ²)		5.5	7.5	5.5
Qsb (MJ/m ²)		0.673	0.747	0.675
着火時間 (秒)		3	4	4
消火時間 (秒)		1144	1004	923
試験時間 (秒)		1744	1604	1523



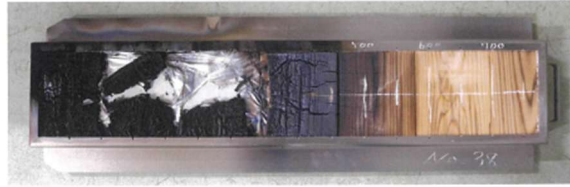
試験前



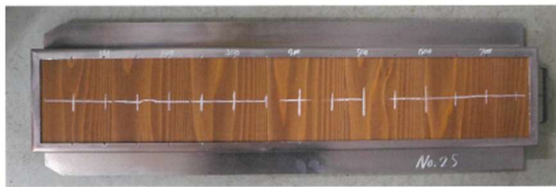
試験前



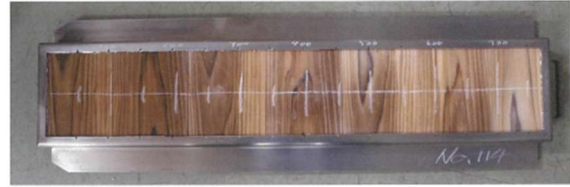
試験後



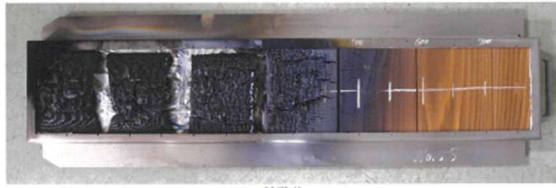
試験後



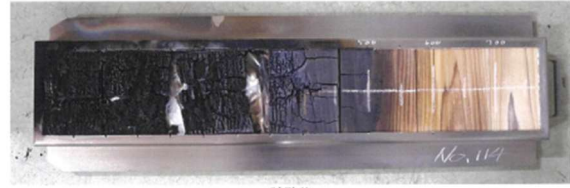
試験前



試験前



試験後



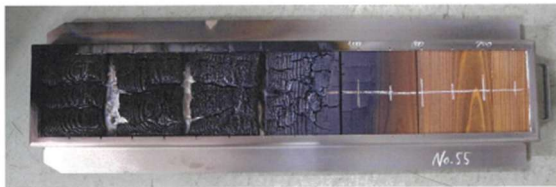
試験後



試験前



試験前



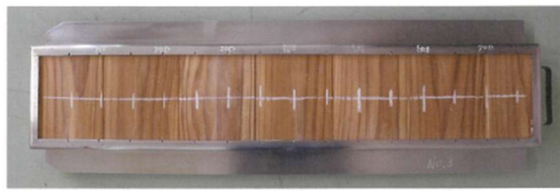
試験後



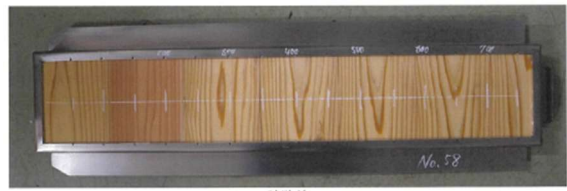
試験後

写真 2.4-1 火炎伝播試験前後の試験体
(試験材 A)

写真 2.4-2 火炎伝播試験前後の試験体
(試験材 B_S)



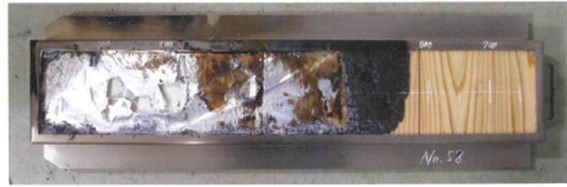
試験前



試験前



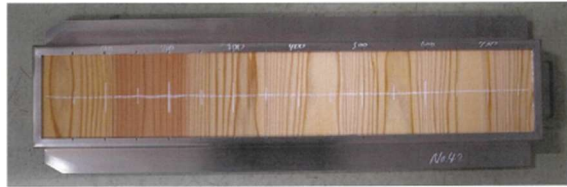
試験後



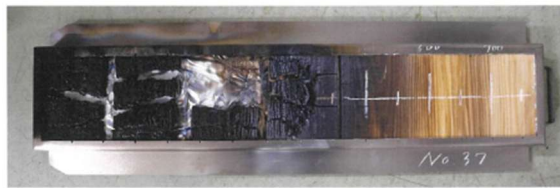
試験後



試験前



試験前



試験後



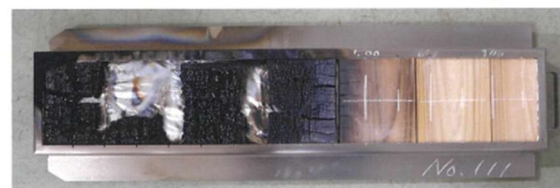
試験後



試験前



試験前



試験後



試験後

写真 2.4-3 火炎伝播試験前後の試験体
(試験材 B_R)

写真 2.4-4 火炎伝播試験前後の試験体
(試験材 N(9))

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

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、低発熱コーンカロリメーターによりファサード試験に供した試験材の燃焼性状の評価を実施した。

低発熱コーンカロリメーターは、大きさ 150 mm×150 mm の試験体をコーン型ヒータで加熱して燃焼させ、その排気中の酸素濃度等を測定する装置で（写真 2.5-1）、燃焼により減少した酸素濃度などから、発熱量および発熱速度が計算される。通常のコーンカロリメーターでは試験体寸法が 100 mm×100 mm だが、サイズが大きくなったことで低発熱時の計測精度が高くなっているとされる。また、内部の材質が均質でない材料の場合、試験面積が広がることで結果の再現性が高まると考えられる。



写真 2.5-1 低発熱コーンカロリメーター試験装置¹⁴⁾

実火災の燃えひろがりの現象的な解明においては、着火部分と未燃部分の境界付近の、やや弱い加熱を受ける場合の燃焼性が重要とも考えられる。しかし、燃えひろがりを助長する材料かどうか、の評価を行う場合には、例えば材料の融解や燃え抜けなど、実火災で受ける強い加熱下で生じる現象を試験上でも再現できなければならぬため、ある程度強い加熱強度が必要と考えられる。そのため、今回の試験条件は、加熱強度を防火材料の評価試験と同じ 50 kW/m²、電気スパークでの口火ありの条件とし、試験時間は 20 分間とした。

2.5.2 低発熱コーンカロリメーター試験 試験体

表 2.5-1 に低発熱コーンカロリメーターに供した試験体の概要を示す。各仕様とも繰り返し数は 3 体で、表中の数値は平均値である。ファサード試験と同じ仕様の試験材 A、B_S、B_R、N(9)それぞれからなる試験体について試験を実施した（試験材 C については 2022 年

表 2.5-1 低発熱コーンカロリメーター試験 試験体仕様

No.	タイプ	薬剤	塗装	薬剤量 [kg/m ³]	含水率 [%]	備考
A	低注入	リン酸アミノ系	オイル ステイン系	30.1	8.9	以前に51kg/m ³ で各種試験。
B _S	低注入表面集積	リン酸系	なし	26.5	7.5	
B _R	低注入裏面集積	リン酸系	なし	26.8	7.0	
N(9)	無処理スギ (9mm)	なし	なし	—	9.1	厚さ9mm

度に実施済み)。厚さはN(9)は9 mm、それ以外は18 mmであった。試験は(株)東京システムバックにて実施した。

2.5.3 低発熱コーンカロリメーター試験 試験結果

表 2.5-2 に各仕様の試験結果概要、図 2.5-1 に各仕様の発熱速度の推移の例を示す。表 2.5-2 の各値は各仕様の平均値で、参考のために 2022 年度に実施した試験データ¹²⁾も記載している。また、図 2.5-2～図 2.5-5 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 2.5-5 に各仕様の試験前後の状況例を示す。

試験材 A、B_R、N(9)は加熱開始から十数秒以内に着火、B_Sはやや着火しにくく40秒過ぎに着火した。N(9)は4分ほどで2次ピークとなりその後赤熱燃焼となり、B_Sは1次ピークが低く抑えられ2次ピークがB_Rより高めとなっている。逆にB_Rは1次ピークでの発熱が大きく、Aはその中間的な推移となった。総発熱量で比較すると概ねB_S<A<B_Rの順となるが、1200秒間の総発熱量ではN(9)がC以外より小さくなる。本試験でもAの仕様にて目地が無いことがファサード試験結果との対応に影響している可能性がある。

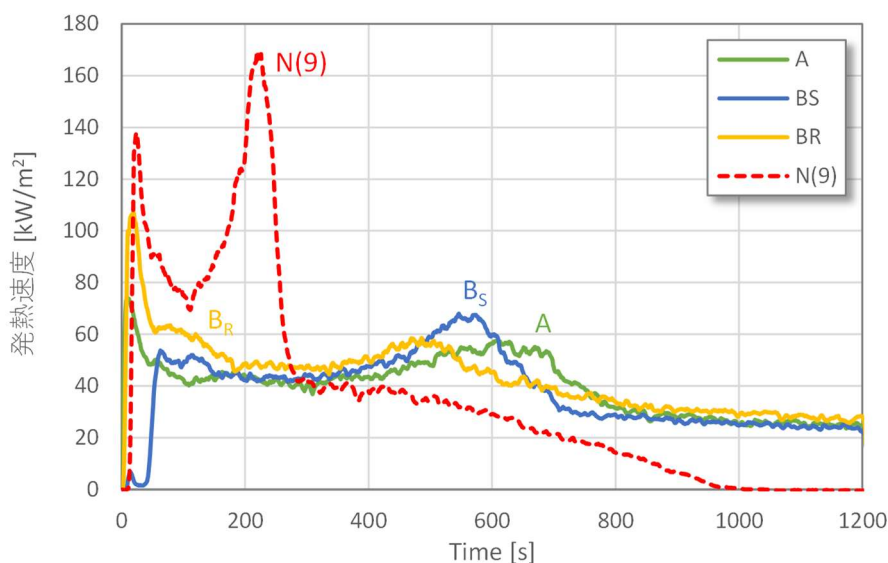


図 2.5-1 各仕様の発熱速度の推移の例

表 2.5-2 低発熱コーンカロリメーター試験 試験結果概要

試料名	総発熱量					最高発熱速度 [kW/m ²]	最高発熱速度 時刻 [s]
	THR 60 [MJ/m ²]	THR 150 [MJ/m ²]	THR 300 [MJ/m ²]	THR 600 [MJ/m ²]	THR 1200 [MJ/m ²]		
A	3.2	7.2	13.7	28.4	49.0	79.3	9.0
B _S	0.6	5.0	11.7	27.7	47.9	67.5	561.7
B _R	4.3	9.5	16.6	31.9	51.5	103.1	18.7
C ^{*1}	1.4	1.9	2.4	3.8	7.8	78.5	19.7
N(9)	4.9	11.7	27.1	38.0	44.9	165.9	223.7
N(18) ^{*1}	4.8	11.4	21.1	44.7	75.4	153.3	24.7

※1 2022年度データ

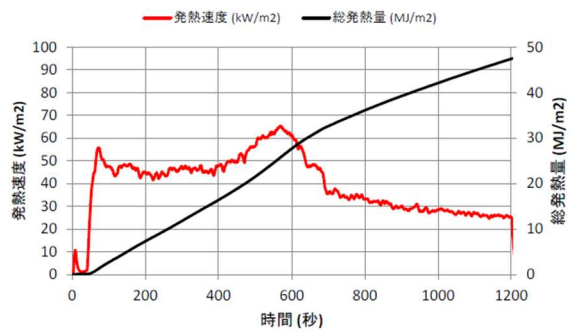
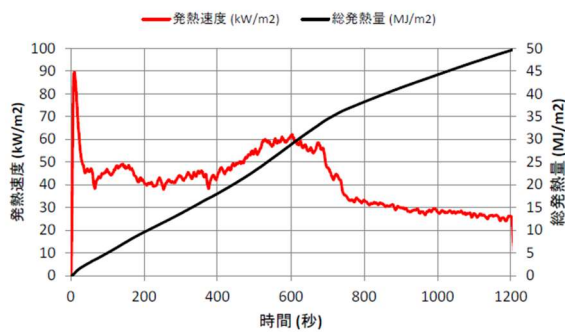
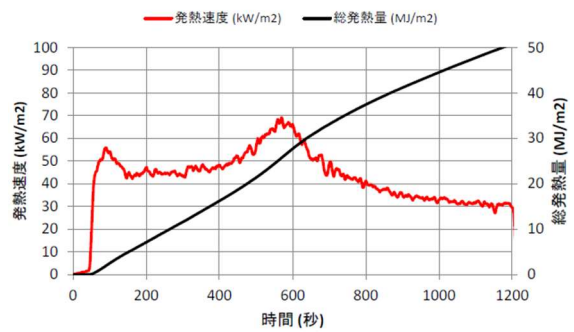
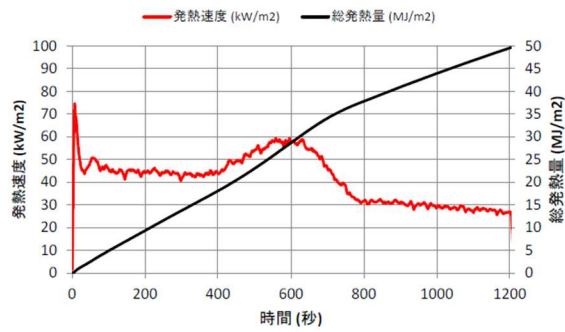
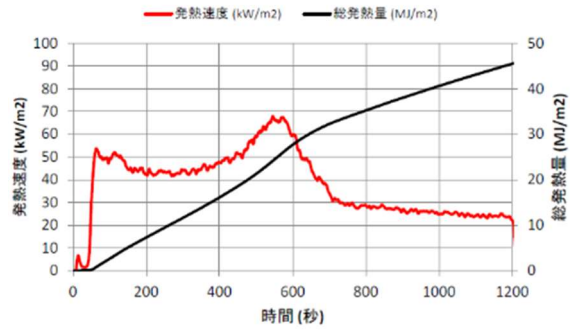
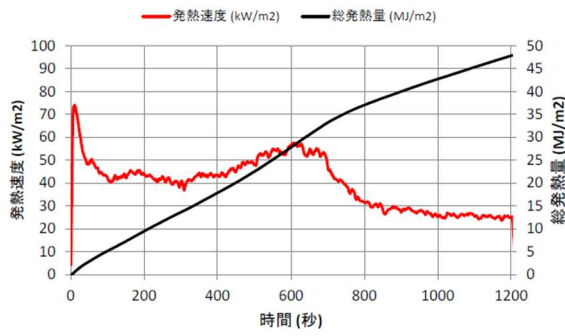


図 2.5-2 発熱速度と総発熱量の推移 (試験材 A)

図 2.5-3 発熱速度と総発熱量の推移 (試験材 B_s)



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



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

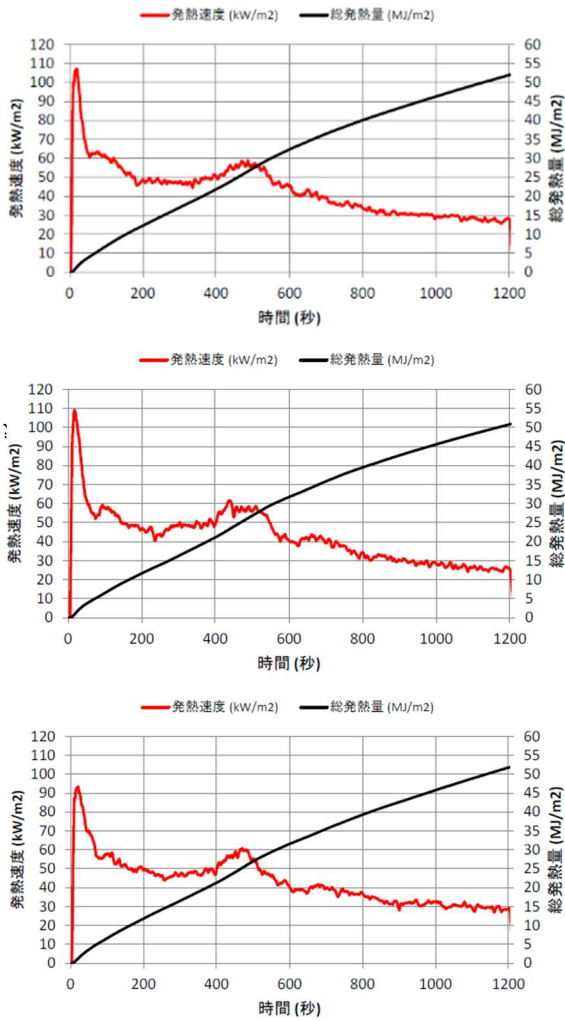


図 2.5-4 発熱速度と総発熱量の推移 (試験材 B_R)

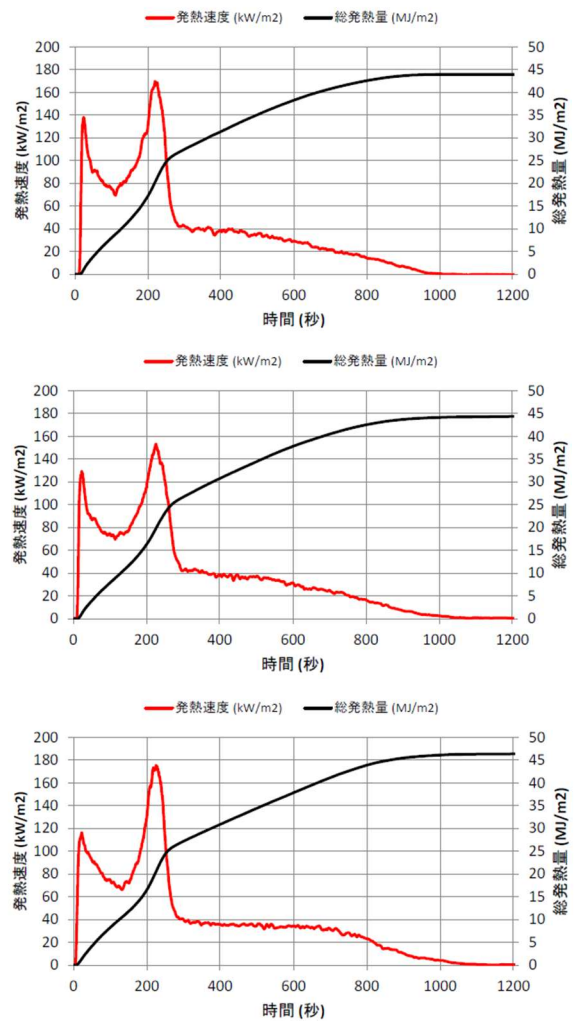


図 2.5-5 発熱速度と総発熱量の推移 (試験材 N(9))

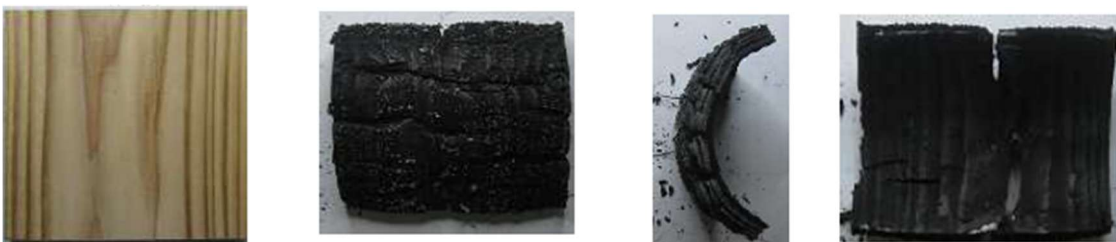


写真 2.5-4 試験材 B_Rの試験前後の状況例 (左から試験前、試験後正面、側辺、裏面)



写真 2.5-5 試験材 N(9)の試験前後の状況例 (左から試験前、試験後正面)

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、低発熱コーンカロリメーター試験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 2m 上方の外装表面温度の最高値を縦軸とし、横軸を低発熱コーンカロリメーターからの出力値のうち、試験開始から 150 秒、300 秒、600 秒までの総発熱量、および、最大発熱速度としたものである。図中には既往のデータもプロットしてある（昨年度ファサード試験を実施した II'、III、および N(18)¹⁵⁾）。また、外装表面最高温度が 500°C を超えるものについては、各凡例横に 500°C 以上の継続時間(秒)を記載した。これらのうち、横軸を総発熱量としたものについては、いずれも右上がりの帯状にプロットが並ぶが、このうち 300 秒までの総発熱量としたものをもっともプロットの並びが一つのライン状に近くなった。600 秒等、より長い時間の総発熱量とした場合、300 秒程度で有炎燃焼が終わる N(9)を中心にプロットのばらつきが大きくなった。また、横軸を最大発熱速度としたものはプロットの分布、並び順ともに不整合なものとなった。コーンカロリメーター試験での木質材料では、有炎燃焼の後に火炎を伴わない赤熱燃焼に移行し、総発熱量にはその赤熱燃焼による発熱も含まれるが、燃えひろがり現象では気相に生じる火炎からの伝熱が非常に大きな支配的要因となるため、横軸の数値に赤熱燃焼での発熱分が含まれると整合性が悪化すると考えられる。

次に、横軸を火炎伝播試験からの出力値である火炎伝播 CFE と火炎伝播 Q_{sb} としたものを図 2.6-2 に示す。火炎伝播 CFE は火炎伝播が生じる限界の外部加熱強度で、小さい数値ほど火炎伝播に必要な外部加熱が小さい、即ち火炎伝播しやすい、という数値であるため、これを横軸とした場合、プロットは右下がり、かつ、グラフ右方で一定値（不燃材での外装表面最高温度）に漸近するはずである。実際に図を見ると概ねそのような分布となっているが、A の仕様で他とのずれが大きく、N(9)と N(18)とで縦軸数値の差に対して横軸の数値の差がほとんどない。もっとも、A についてはファサード試験と小型燃焼試験で目地可能の有無が異なっていた点が影響した可能性がある。右側の、火炎伝播 Q_{sb} を横軸としたものは整合性のある分布にはならなかった。

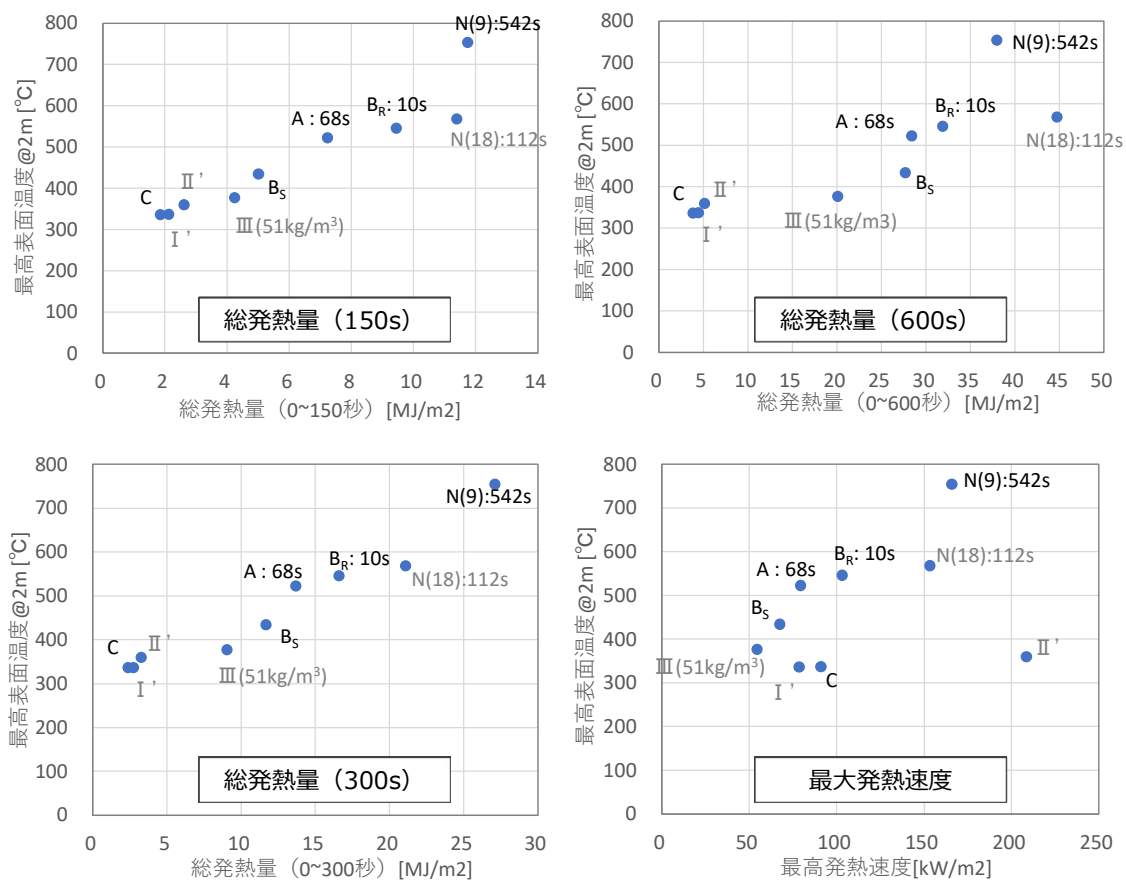


図 2.6-1 ファサード試験結果（ファサードでの開口上方 2m での外装最高温度）と低発熱コーンカロリメーター試験の各データとの関係

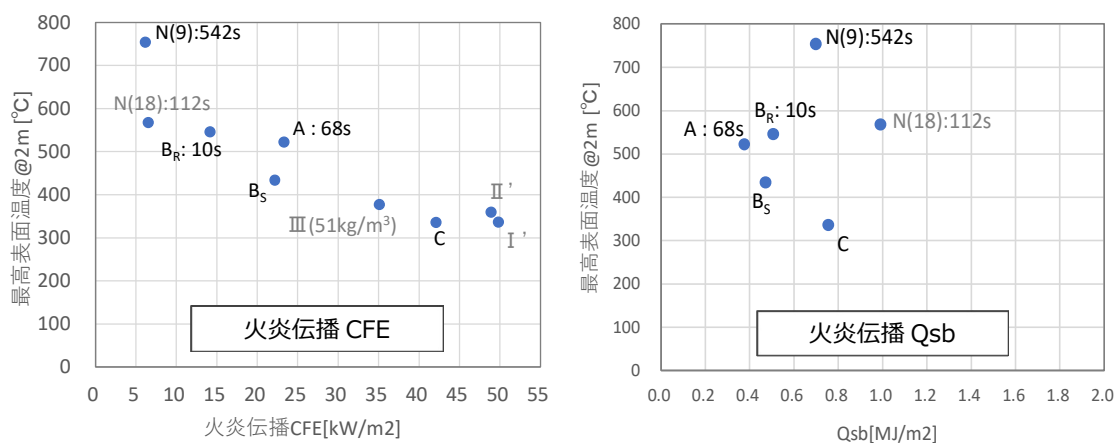


図 2.6-2 ファサード試験結果（ファサードでの開口上方 2m での外装最高温度）と火炎伝播試験の各データとの関係

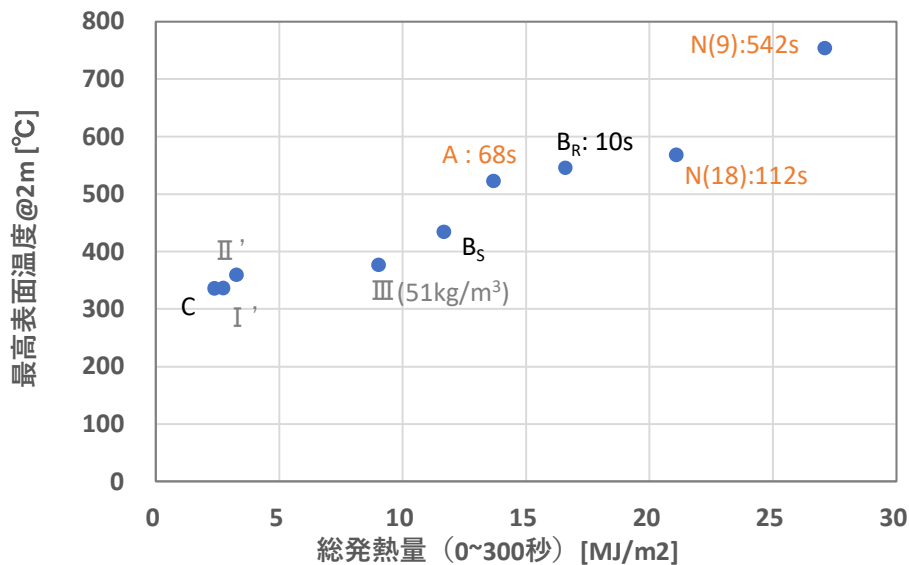


図 2.6-3 ファサード試験結果（ファサードでの開口上方 2m での外装最高温度）と低発熱コーンカロリメーター試験の 300 秒までの総発熱量との関係

図 2.6-3 は、横軸を低発熱コーンカロリメーター試験での 300 秒までの総発熱量とした図を大きくしたものである。図中のプロットのうち、500°C以上の継続時間も記載したものを見ると、A は 500°C以上の継続時間が 68 秒、B_R は 10 秒、N(18)は 112 秒、N(9)は 542 秒となっている。燃えひろがりの危険性という意味では A は本来、この図で言うところの更に右側に位置するのが妥当と考えられるが、これは前述のようにファサード試験用の試験体では目地部分に本実加工を施して試験していることが影響していると考えられる。基本的に、ファサード試験や小型の燃焼試験によって製品の燃えひろがり性を評価する場合、想定し得る通常の収まりの中で最も不利、すなわち危険性が高いと思われる仕様・収まりにて試験をすることで、製品の仕様の幅を持たせつつ安全側の設計とすることが出来る。今回の一連の試験により、ファサード試験や実火災では外装材の厚みや目地の影響があることを改めて確認できたため、今後、小型燃焼試験においても実施工時の目地や通気層の影響を加味した試験体の設定方法を検証する必要があるかも知れない。

ここまで、実火災に近い状況での外装材の燃えひろがり性状を代表する数値として、「開口上端から 2m 上方での外装表面の最高温度」を取り上げて検討を進めてきた。一方で、JIS A 1310 の解説には、「著しい燃えひろがりが発生した」と評価すべき場合として、以下のよう記述されている⁵⁾。

- a) 開口部から 2,000 mm 又は 2,500 mm の高さにおける、試験体表面又は試験体から 50 mm 外側の測定点において、2 分間以上継続して 500 °C以上の温度が計測された

場合

- b) 通気層が存在する工法の場合は、通気層内部においても a)と同じ高さにおける温度を計測し、2分間以上継続して500℃以上の温度が計測された場合
- c) 試験中に火炎が試験体の上下端又は水平端に到達する等の危険な状況になり、担当者の判断によって20分未満で加熱を中止した場合

これまでのファサード試験の温度データを見ると、開口部上方においては開口上端に近いほど温度は高くなるため、開口部から2mと2.5mであれば2mの方が高温となる。また、この付近の高さでは、「試験体表面」の温度の方が「試験体から50mm外側」よりも高温となっている。以上から、本事業で基準としている「開口上端から2m上方の外装表面温度」は上記のJISの解説で示しているもののうち最も厳しい側の温度計測点であるといえる。また、同解説では、2分以上継続して500℃以上、という基準を提示しているが、既往文献¹³⁾によると、これを30秒以上、とするものもある。JISA 1310の解説の基準は“建築ファサードが著しく燃え広がるか否か”を評価する上での値であり、また、木質難燃薬剤処理材料では多少の性能ムラも生じ得ることも加味すると、「開口上端から2m上方の外装材表面の最高温度が30秒以上継続して500℃を超えない」という程度が“外壁の上階延焼を大きく助長しない”性能の判定基準として比較的妥当なラインではないかと考える。このファサード試験での評価基準については、今後製品の評価・認証体制を考えていくうえで改めて検討する必要がある。

ここでは、ひとまず「開口上端から2m上方の外装材表面の最高温度が30秒以上継続して500℃を超えない」という条件を閾値として仮定し、この条件から外れるもの、即ち、燃えひろがりを助長するとの判定に当てはまるものを図2.6-3中にオレンジ色で示す。理想は横軸の値（この場合、低発熱コーンカロリメーター試験での300秒までの総発熱量）が一定以上の場合にファサード試験側の基準でもNGとなる、という関係性となることであるが、図を見るとAとB_Rの左右の関係が逆転している。このAの値については、低発熱コーンカロリメーター試験において前述の目地等の影響を加味して試験が出来たと仮定して、その結果目地無しよりも燃焼性が増すのであれば図中のプロットは更に右側へと移動することになるため、この点について今後検証を進めたい。

また、今回の検証では、低発熱コーンカロリメーター試験での300秒までの総発熱とファサード試験での値との関係性がそれぞれの試験結果の対応を見るのに適している、としているが、300秒より後で非常に大きな発熱が生じるような素材においては恐らく当てはまらなくなると予測され、今後、どのような状況・仕様であれば上記関係性から外れてしまうのかも確認する必要があると考える。

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 3種類の難燃薬剤注入材の耐候性試験

- ・3社からの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社は造膜型塗料、1社は含浸型塗料塗装）であった。
- ・表 2.7-1 に各社からの試験片の概要、表 2 に東西南北垂直暴露試験の試験片配置を示す。

表 2.7-1 暴露試験片の概要

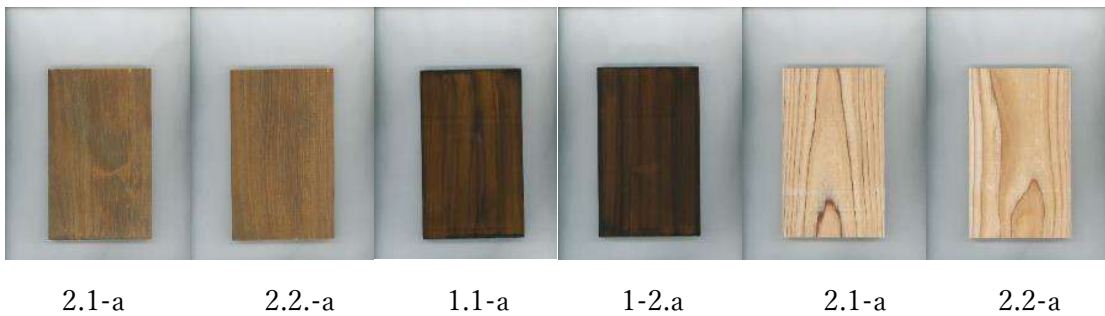
処理	試験片(A)	試験片(B)	試験片(C)
樹種	スギ		
難燃処理	リン酸系難燃剤等各社により異なる		
薬剤注入量	169～181kg/m ³ 程度で各社により異なる		
塗装処理	着色含浸形塗料	着色造膜形塗料	透明造膜形塗料
塗布量	100g/m ²	228～256g/m ²	

表 2.7-2 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)

写真 2.7-1 暴露前試験片写真

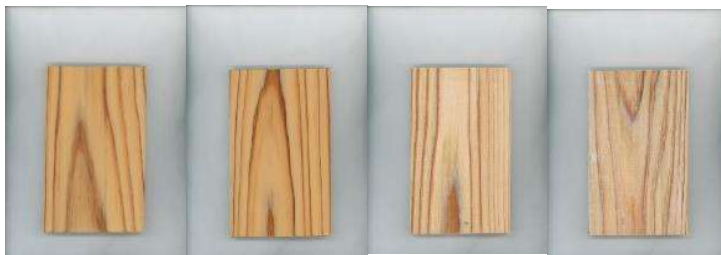
東面



ト-1.1 ト-2.1 ㇿ-1.1 ㇿ-2.1
西面



5.1-a 5.2.-a 1.3-a 1-4.a 2.3-a 2.4-a

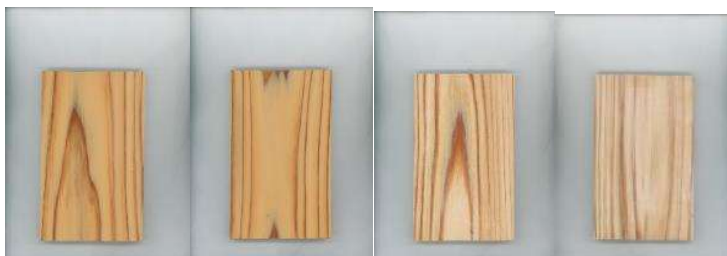


ト-1.2 ト-2.2 ㇿ-1.2 ㇿ-2.2

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 ㇿ-1.3 ㇿ-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 四面暴露架台と暴露試験



東面



西面



南面



北面

写真 2.7-3 東西南北各面に垂直暴露した試験片

写真 2.7-4 屋外暴露 12 ヶ月後の試験片写真

東面



2.1-a

2.2.-a

1.1-a

1-2.a

2.1-a

2.2-a



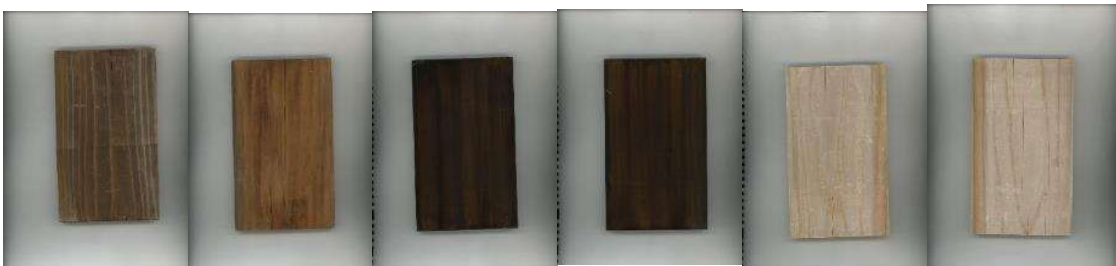
ト-1.1

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

南面



6.1-a

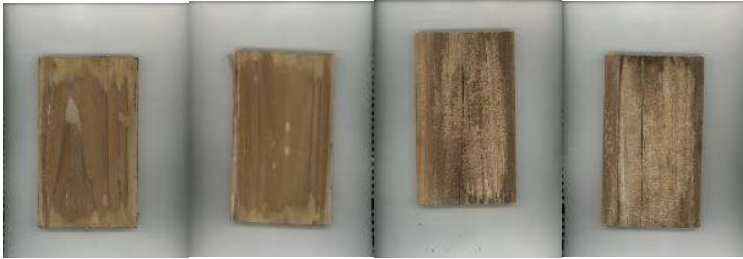
6.2.-a

1.5-a

1-6.a

2.5-a

2.6-a



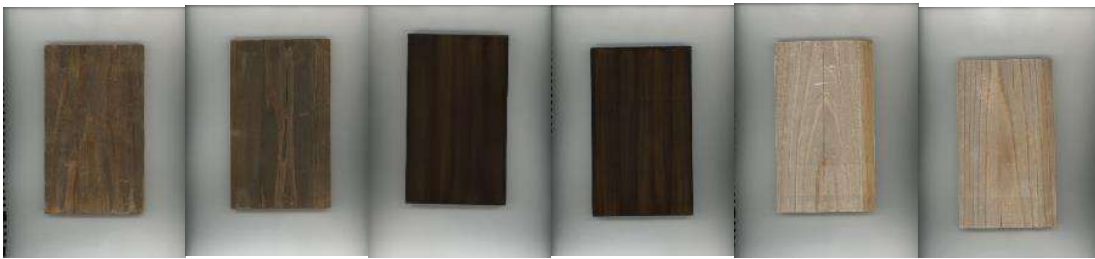
ト-1.3

ト-2.3

ㇿ-1.3

ㇿ-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

ㇿ-1.4

ㇿ-2.4

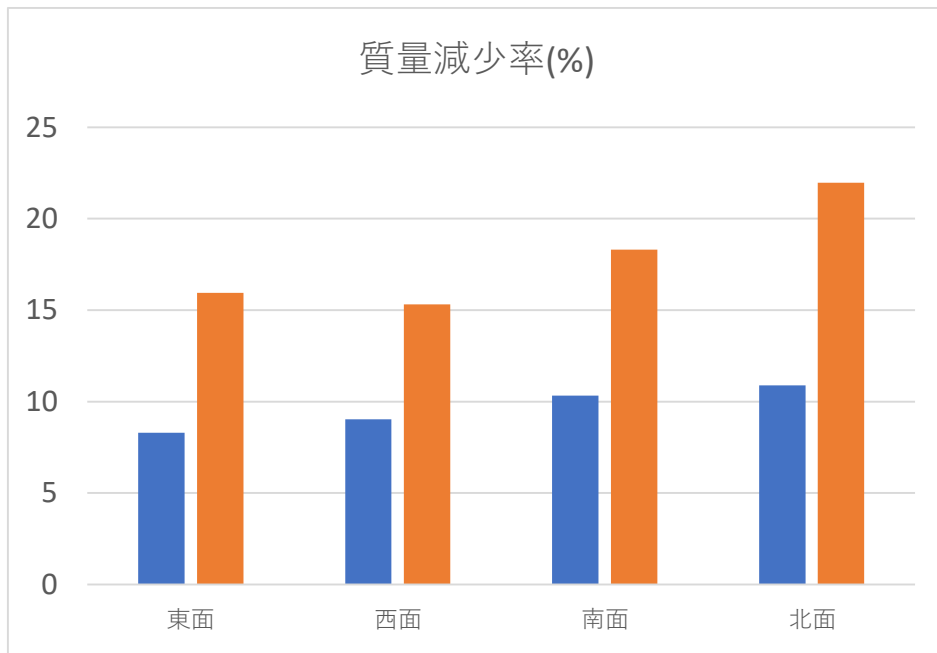


図 2.7-1 東西南北に暴露した試験片の暴露1年後（青色）及び3年後（赤色）の質量減少率（A社处理品）

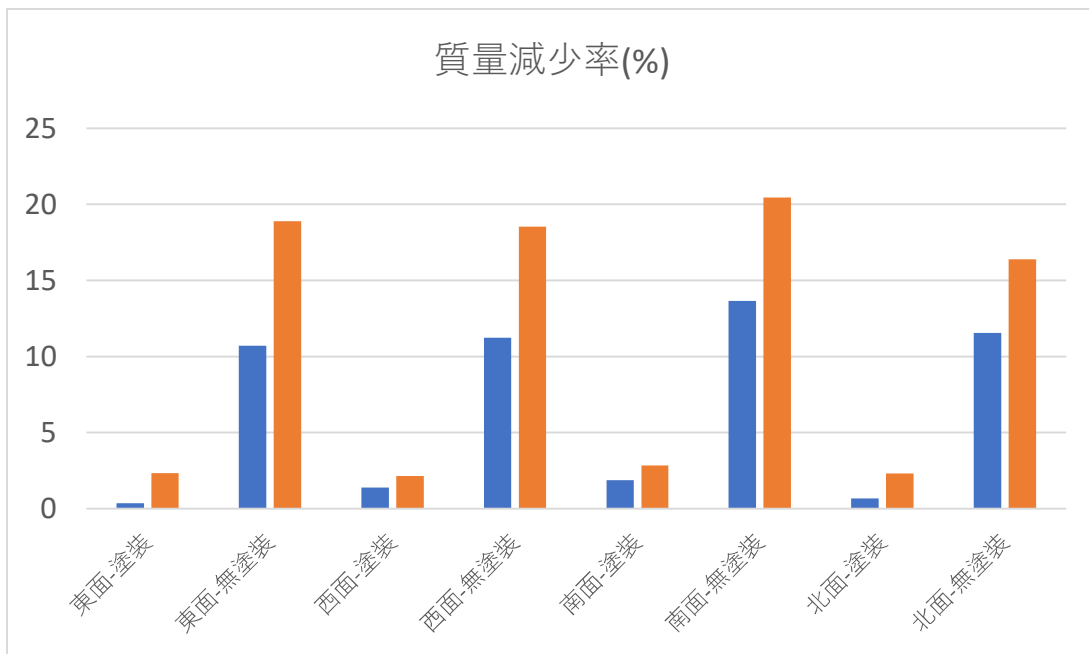


図 2.7-2 東西南北に暴露した試験片の暴露1年後（青色）及び3年後（赤色）の質量減少率（B社处理品）

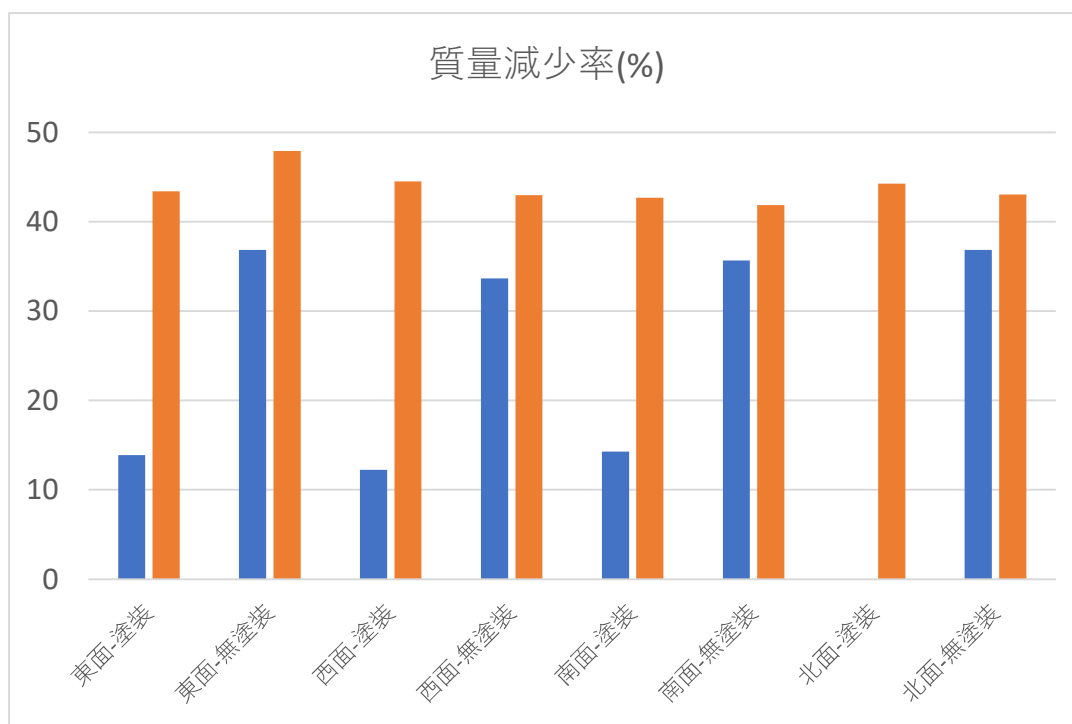


図 2.7-3 東西南北に暴露した試験片の暴露 1 年後 (青色) 及び 3 年後 (赤色) の質量減少率 (C 社処理品)

- ・ 図 2.7-1 から 2.7-3 に垂直暴露試験 3 年後の各社処理品試験片の質量減少率を示す。
- ・ A 社処理品は含浸型塗装されており、無塗装は無い。
- ・ 暴露方位による質量減少率は北面(22.0%)>南面(18.3%)>東面(15.9%)=西面(15.3)となり、暴露 1 年後から 6%から 10%程度増加した。
- ・ 最大と最小の北面と西面の差は 7%程度と暴露 1 年度より拡大した。
- ・ B 社処理品は、着色造膜塗装と無塗装であったが、暴露 3 年度においても質量減少率は塗装処理により大幅に抑制された。
- ・ 暴露 3 年後の塗装試験片の質量減少率は、方位では南面(2.8%)>東面(2.3%)=北面(2.3%)=西面(2.1%)となり、方位による差は 1%以下となり暴露 1 年後と同様に小さかった。
- ・ 塗装処理では暴露 3 年後でも塗膜の劣化がほとんど生じていないと思われる。
- ・ 暴露 3 年後の無塗装試験片の質量減少率は、方位では南面(20.4%)>東面(18.9%)=西面(18.5%)>北面(16.4%)となり、塗装試験片より 15%程度多くなったが、方位による差は 4%程度で暴露 1 年後と同様に小さかった。
- ・ 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 10%以上の質量減少率を示したが、暴露 3 年後では 40%以上の質量減少率となり、無塗装試験片とほぼ同様の値となった。

- ・暴露方位別では、西面(44.5%)=北面(44.3%)=東面(43.4%)=南面(42.7%)であり、暴露方位の違いはほとんど無かった。
- ・透明系造膜塗装は、暴露3年後には塗膜がほぼ消失したと思われる。
- ・無塗装では、暴露36ヶ月の方位別で東面(47.9%)>北面(43.1%)=西面(43.0%)=南面(41.9%)となり、暴露面の違いはほとんど無かった。
- ・屋外暴露試験36ヶ月後では、本処理品は塗装及び無塗装共に難燃薬剤はほぼ全てが溶脱したと考えられる。

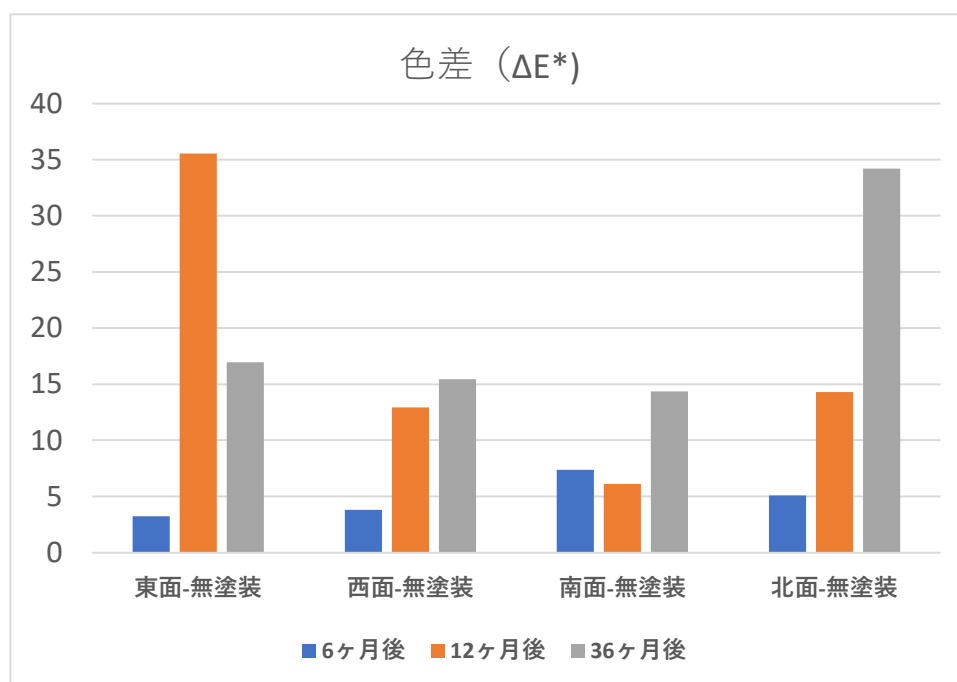


図 2.7-4 暴露6ヵ月後～36ヶ月後の色差 (A社処理品)

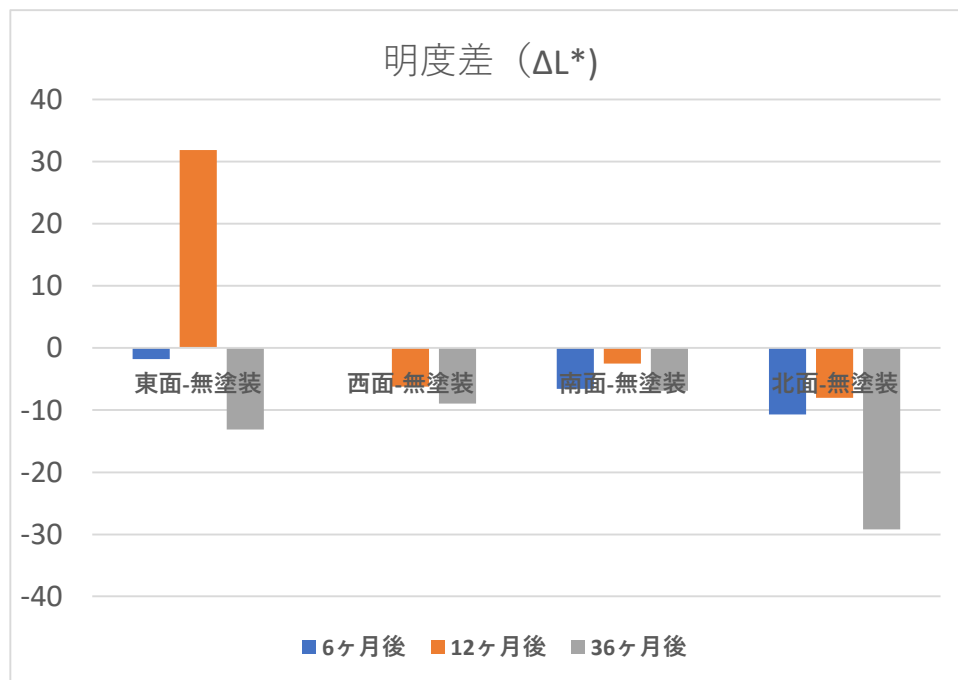


図 2.7-5 暴露 6 カ月後～36 ヶ月後の明度差 (A 社処理品)

・図 2.7-4 は暴露 6 ヶ月後から 36 ヶ月後の A 社処理品 (無塗装) の暴露各面における色差変化を示す。

・暴露期間と共に色差の増加が見られるが、東面は暴露 12 ヶ月後に大幅に増加した。

・図 2.7-5 に暴露 6 ヶ月後から 36 ヶ月後の A 社処理品 (無塗装) の暴露各面における明度変化を示す。明度 (L^*) は、白色が 100、黒色が 0 となるので、東面の暴露 12 ヶ月後の明度が 30 以上も増加していることから、東面ではこの時点で難燃薬剤の溶出とこれが乾燥して白華し、試験片表面が白色化したため色差が増加したと考えられる。

・一方、北面では暴露 36 ヶ月後には明度が大幅に低下したことから、暴露により表面が濃色化した結果、色差が増大したと考えられる。

・図 2.7-6 は暴露 6 ヶ月後から 36 ヶ月後の B 社処理品 (塗装及び無塗装) の暴露各面における色差変化を示す。

・無塗装において各暴露共に暴露 12 ヶ月後に色差が増加し、暴露 36 ヶ月後には低下する傾向を示した。

・図 2.7-7 に暴露 6 ヶ月後から 36 ヶ月後の B 社処理品の暴露各面における明度変化を示す。

・無塗装試験片において、暴露 12 ヶ月後に東面を除く 3 面で明度が増加していることから、難燃薬剤の溶脱による白華現象が生じたことが原因の一つと考えられる。東面は明度が大幅に低下し濃色化しているため、薬剤溶脱後に変色が生じた可能性がある。

・暴露 36 ヶ月後では色差が低下していることから、無塗装試験片ではこれまでに薬剤の溶脱がほとんどなくなったと考えられる。

・塗装試験片では、暴露期間と共に塗装面の劣化により色差が増加したと考えられるが顕著な劣化が見られず、薬剤の溶脱が無いいため白華による明度の増加も見られなかった。

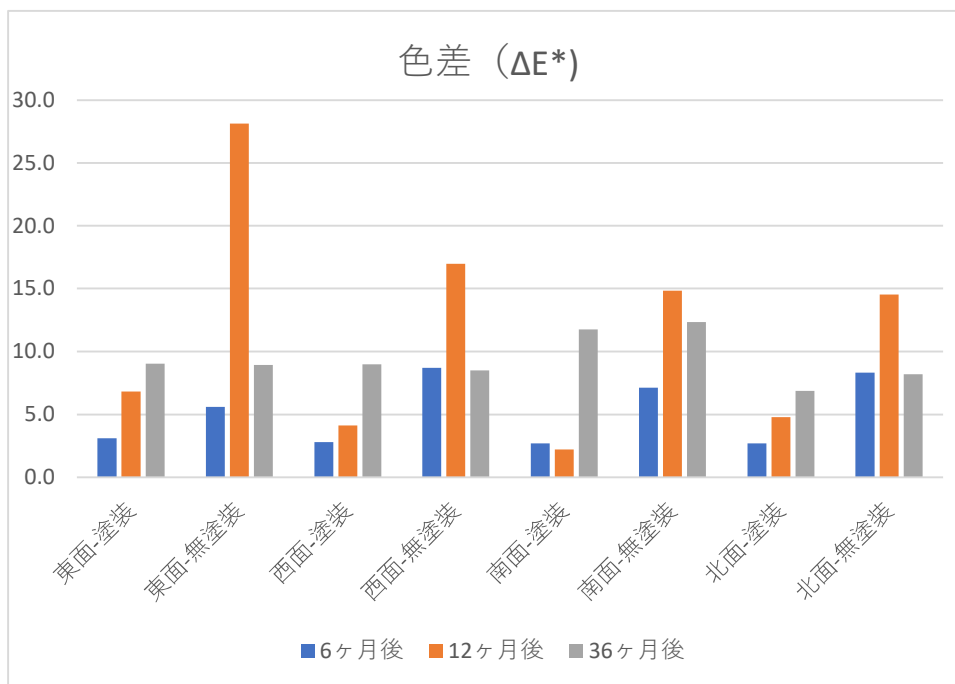


図 2.7-6 暴露 6 カ月後～36 ヶ月後の色差 (B 社処理品)

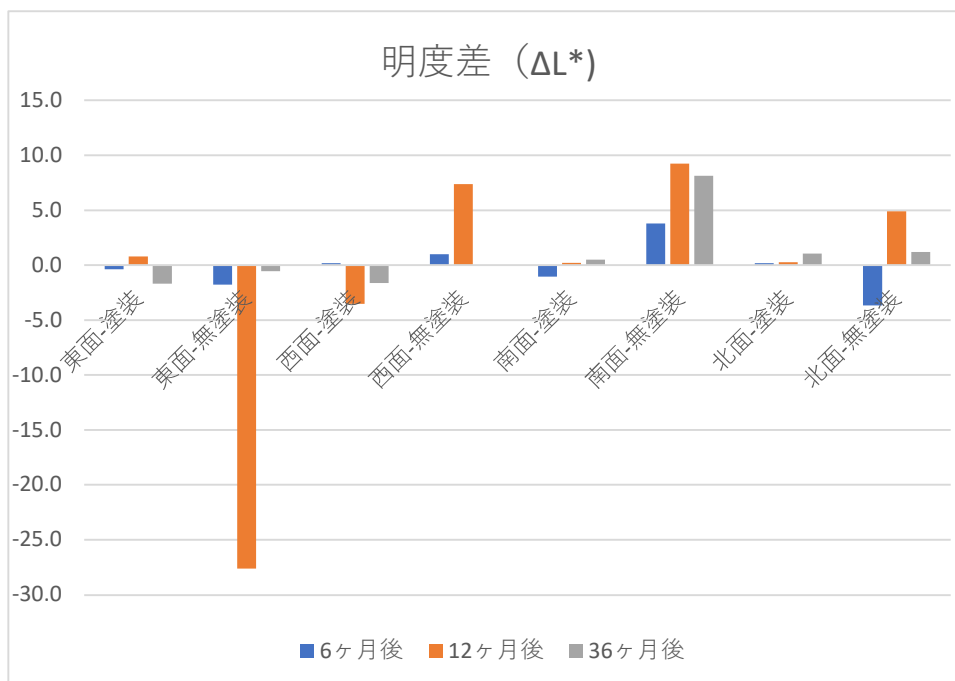


図 2.7-7 暴露 6 カ月後～36 ヶ月後の明度差 (B 社処理品)

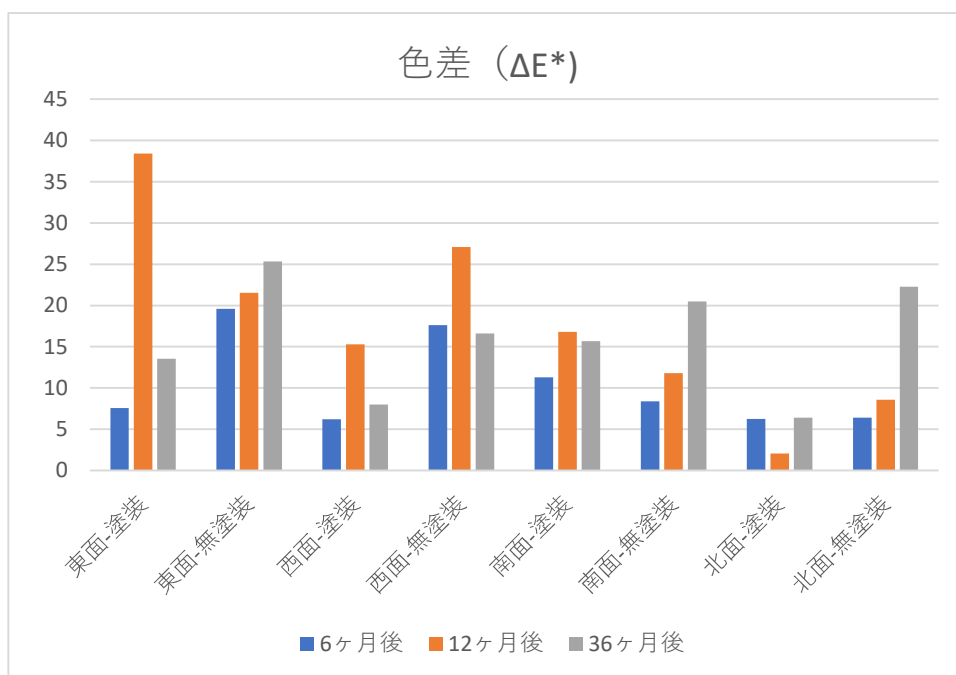


図 2.7-8 暴露 6 カ月後～36 ヶ月後の色差 (C 社処理品)

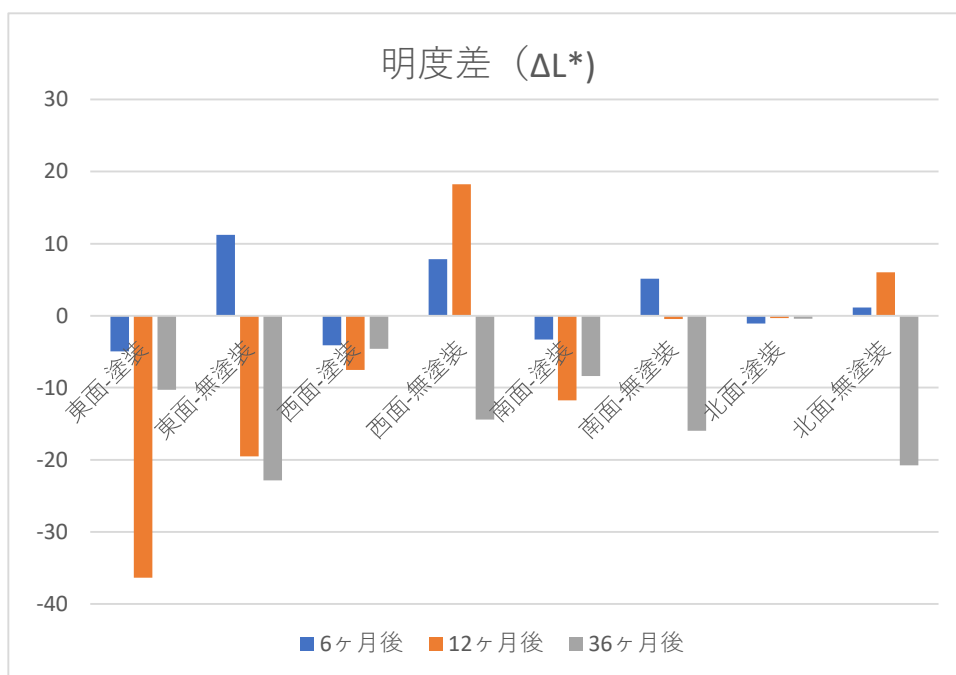


図 2.7-9 暴露 6 カ月後～36 ヶ月後の明度差 (C 社処理品)

- ・ 図 2.7-8 及び 2.7-9 は C 社処理品の結果である。
- ・ 無塗装において、西面の 12 ヶ月後及び北面の 36 ヶ月後の増大は、明度の増加が大きいことから白華現象による可能性がある。
- ・ 一方、それ以外では明度の低下により色差の増加が見られる傾向があるため、暴露試験に

よる試験片の濃色化のためと思われる。

・以上の結果から、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、耐候性の高い着色型の造膜塗料が薬剤溶脱に効果があると考えられる。

② 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が約1年を経過した。
- ・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、薬剤注入量は $175\sim 180\text{kg/m}^3$ であった(表 2.7-3)。
- ・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した。
- ・暴露試験は、日大藤沢キャンパス内の森林科学実験棟(8号館)屋上において2024年2月29日から開始し、2025年1月30日まで質量及び色調の測定を行った。
- ・写真 2.7-5 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。

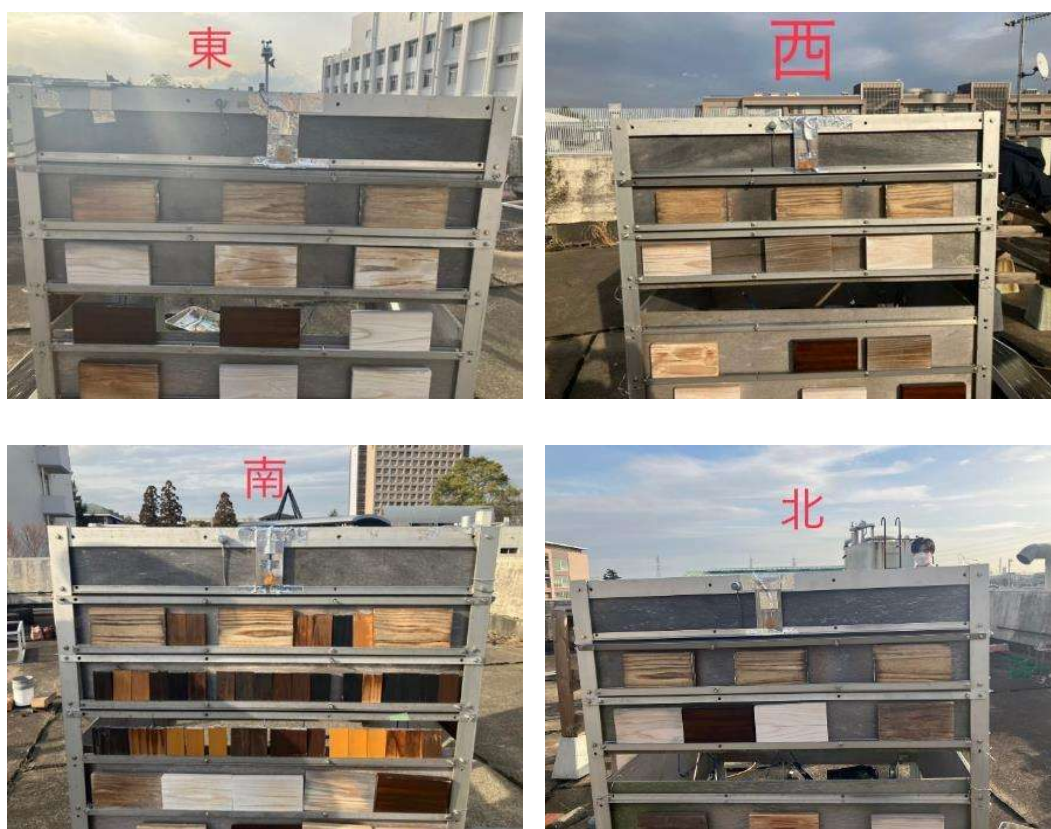


写真 2.7-5 各面に暴露した試験片

表 2.7-3 新規難燃薬剤処理試験片（薬剤処理量等）

記号	含浸前					含浸直後	乾燥後					含浸量	暴露面
	水分	重量	縦	横	高さ	重量	重量	縦	横	高さ	体積		
	%	g	mm	mm	mm	g	g	mm	mm	mm	L	kg/m ³	
1	14.0	177.31	200	120	18	565.64	255.28	200	120	18	432.0	180	東面
3	14.0	179.54	200	120	18	562.68	255.26	200	120	18	432.0	177	東面
4	14.0	178.44	200	120	18	560.28	258.52	200	120	18	432.0	177	東面
5	14.5	180.67	200	120	18	562.11	256.42	200	120	18	432.0	177	西面
6	14.0	182.80	200	120	18	565.98	266.17	200	120	18	432.0	177	西面
7	14.0	179.32	200	120	18	563.41	259.59	200	120	18	432.0	178	西面
8	15.0	177.25	200	120	18	566.75	253.44	200	120	18	432.0	180	南面
9	14.0	178.19	200	120	18	564.58	260.17	200	120	18	432.0	179	南面
11	14.0	181.75	200	120	18	559.69	263.47	200	120	18	432.0	175	南面
12	13.5	182.64	200	120	18	570.17	264.05	200	120	18	432.0	179	北面
13	14.0	182.35	200	120	18	562.11	264.20	200	120	18	432.0	176	北面
14	14.0	174.57	200	120	18	560.88	256.29	200	120	18	432.0	179	北面

表 2.7-4 新規難燃薬剤処理試験片（暴露試験開始前）

	色差	木材	上	木材	下	乾燥重量		色差	木材	上	木材	下	乾燥重量	
東面	E1	L*	62.1	50.07			南面	S8	L*	70.14	63.68			
		a*	7.12	9.06	255.28				a*	6.83	6.04	253.44		
		b*	18.99	17.3					b*	18.48	17.51			
	E3	L*	58.6	63.4				S9	L*	44.35	76.68			
		a*	7.92	6.12	255.26				a*	6.17	5.15	260.17		
		b*	18.41	17.71					b*	13.43	17.94			
西面	E4	L*	64.19	60.95			北面	S11	L*	60.82	61.95			
		a*	9.02	5.29	258.52				a*	6.62	4.85	263.47		
		b*	20.45	16.88					b*	18.52	16.96			
	W5	L*	60.99	61.17				北面	N12	L*	50.97	69.55		
		a*	5.89	10.83	256.42					a*	4.21	5.93	264.05	
		b*	17.27	19.18						b*	11.2	18.33		
W6	L*	64.51	60.73			N13	L*		58.81	59.9				
	a*	5.6	7.42	266.17			a*		4.1	5.04	264.2			
	b*	17.63	19.24				b*		15.2	17.05				
西面	W7	L*	42.88	76.69			北面	N14	L*	63.13	59.02			
		a*	4.45	6.3	259.6				a*	6.23	5.72	256.29		
		b*	11.42	20.62					b*	18.65	15.89			

・表 2.7-3 に新規難燃薬剤処理試験片の薬剤注入量、表 2.7-4 に暴露試験前の測色値及び乾燥質量を示す。

・図 2.7-10 に各暴露面における試験片の質量減少率を示す。

・各面共に暴露開始 1 ヶ月で 10%以上の質量減少率を示し、その後の質量減少は鈍化する傾向を示した。

・暴露 1 ヶ月後に各面共に 10%以上の質量減少を示し、暴露 11 ヶ月後では南面(19.3%)、北面(19.2%)、西面(18.2%)、東面(17.7%)となり、3 社による処理試験片では A 社及び B 社処理品の無塗装試験片での暴露 12 ヶ月後の質量減少率が約 10%程度であったことから、本試験片の薬剤はこれらの 2 倍程度溶出しており、溶脱しやすいと考えられる。

・暴露面における差はほとんど無いことから、薬剤の溶脱は暴露面の影響を受ける日射量や表面温度の影響は少なく、各面にほぼ均一の気象環境としては降雨があり、降水量と降雨時の風向・風力が各面で大きな差が無いと考えられるため、雨と風が当たる面での薬剤の溶脱が大きくなる可能性があると考えられる。

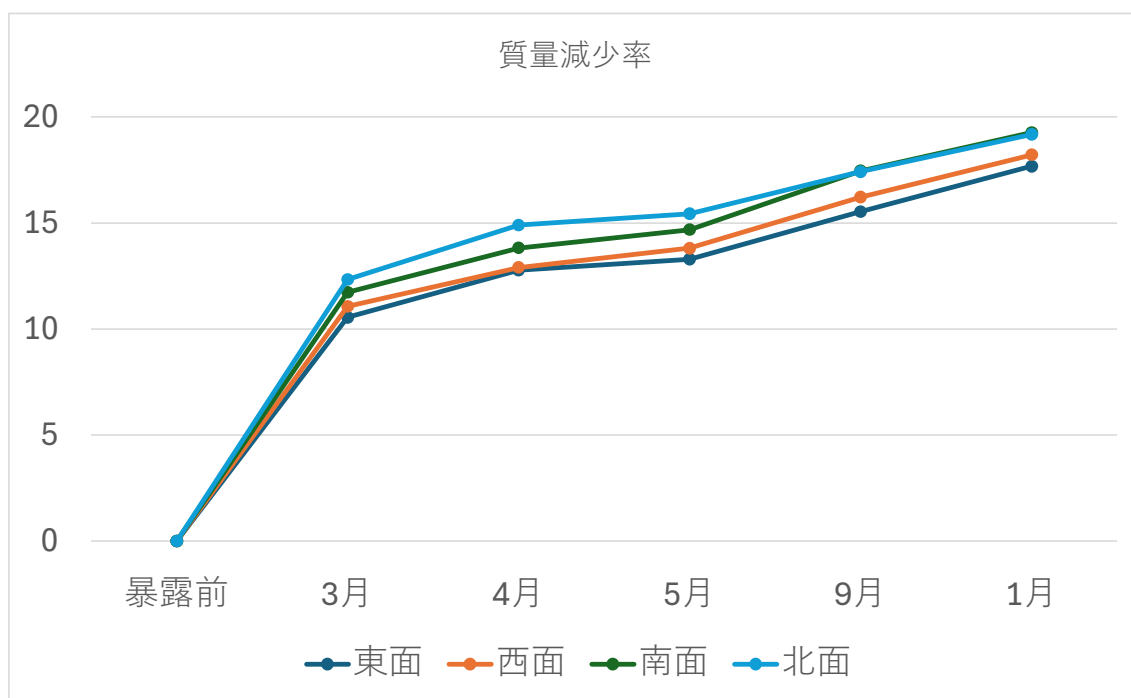


図 2.7-10 東西南北各面に垂直暴露された難燃処理薬剤注入試験片の方位別薬剤残存率 (2024.3~2025.2)

・図 2.7-11 に各面に暴露した試験片の色差を示す。

・暴露 2 ヶ月後まで各面共に大きな変色を示し、これは薬剤溶脱量と比例して増加した。

- ・その後薬剤の溶脱速度が鈍化すると共に色差も鈍化し、6月頃まで各面での差は小さい。
- ・その後、変色の程度は暴露面で異なり、暴露11ヶ月後では南面 (ΔE^* 20.7) が最も色差が大きく、次いで西面 (13.6)、東面 (10.4)、北面(8.7)となった。これは、日射量や表面温度の違いによるものと思われる。
- ・特に、南面において秋季から冬季にかけて変色が増大したのは、太陽の南中高度が下がるために垂直暴露面である南面での日射量が増大することが考えられる。

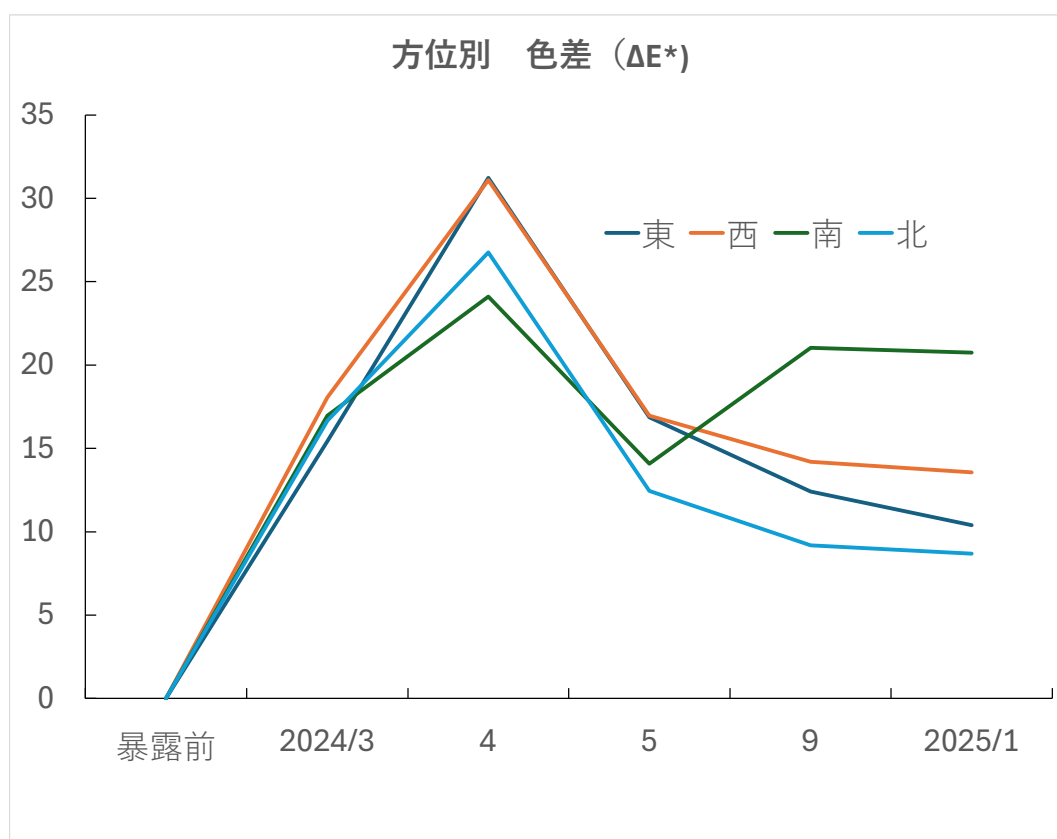


図 2.7-11 東西南北各面に垂直暴露された難燃処理薬剤注入試験片の方位別色差変化 (2024.3~2025.2)

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。昨年度も実施した、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耐候性試験機(Q-Lab社製 QUV/Spray)による紫外線蛍光灯ランプ法促進耐候性試験(EN927-6)¹⁶⁾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。

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 150 mm×幅 75 mm×厚さ 18 mm、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リングした。20°C60%にて 2 週間養生したのち促進劣化試験に供した。

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



写真 2.8-1 紫外線蛍光灯促進耐候性試験機

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	備考
A	リン酸アミノ樹脂系	201.2	造膜形フッ素系	文献17のB-Cと同じ仕様
B	リン・窒素系	139.2	造膜形ウレタン系	
C	リン酸系	174.5	無塗装	

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。試験では 3 単位、即ち、504 時間ごとに試験体を取り出し、60°Cにて乾燥、重量の推移を計測した。

2.8.3 試験結果

写真 2.8.3 に試験前および促進劣化 2,016 時間経過時の各試験体の表面の様子を示す。促進劣化 2,016 時間経過時の各試験体について：試験体 a では、やや色が濃くなる傾向がみられ、角のほとんどに塗膜の割れが見られるが、角から塗膜のはく離の拡がりはほとんど見ら

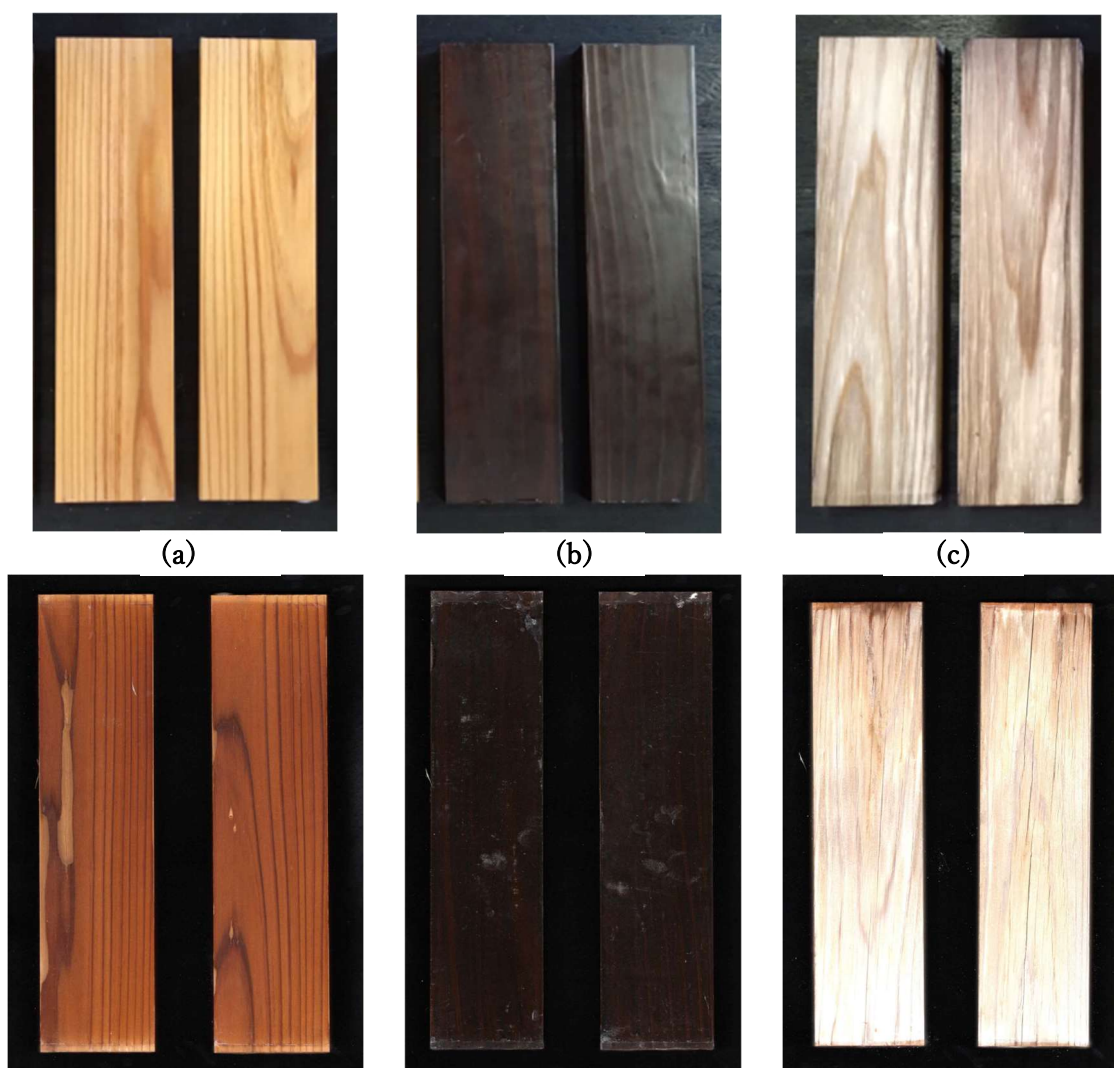


写真 2.8-2 試験前（上）および促進劣化 2,016 時間経過時（下）の試験体の様子

れない。ただし、板目の年輪接線面付近は剥離しやすい傾向がみられる。一部で板目晩材付近に縦の割れがあり左右にも 5mm ずつほど剥離が進んでいる。追い柵部分には割れ等の損傷は見られなかった。試験体 b では全体的にほぼ損傷は見られなかった。角に若干の割れや擦り切れ状の塗膜の薄くなった部分が見られた(画像で見られる表面の白いものは汚れ)。試験体 c は全体的に白っぽく変色し、表面に細かい割れ、早材の紫外線劣化による目減りが見られた。一部の晩材付近に薬剤が噴き出て木質部分が浮くように破壊されている箇所がある(板目接線面付近の晩材年輪頂点付近に多い)。側面にも同様の噴き出しが見られ、木質の部分的剥離が見られた。

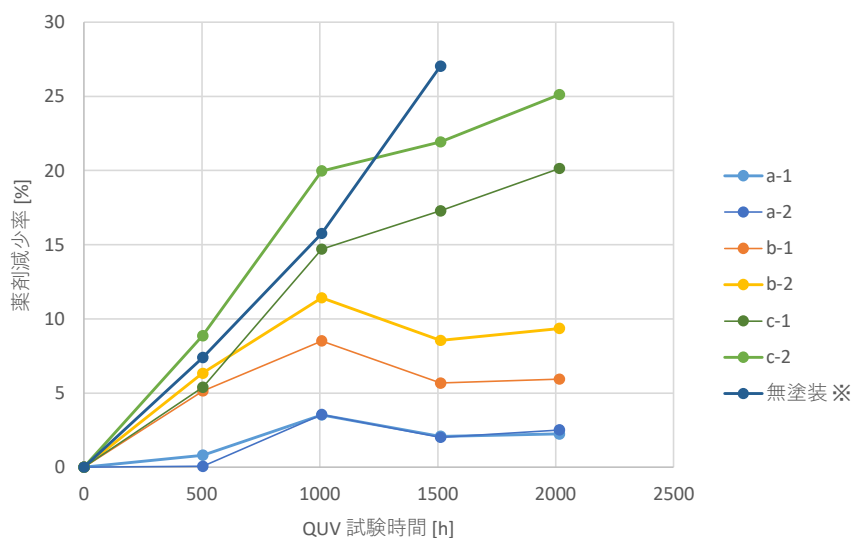


図 2.8-1 促進劣化試験時間と難燃薬剤減少率の関係

図 2.8-1 に促進劣化試験時間と難燃薬剤減少率の関係を示す。図中には、参考のため既往文献¹⁸⁾の屋外暴露に用いられた無塗装試験体(リン酸グアニジンを主成分とする難燃薬剤に、溶脱を抑制するためフェノール系の添加剤等を加えて改良したもの)を本試験機にて同様に促進劣化させた時のデータを記載している。促進劣化試験時間が 2,016 時間の段階で、試験体 a の薬剤減少率は平均 2.4%、試験体 b は平均 7.7%、試験体 c は平均 22.6%であった。屋外暴露データとの対応を検証するため、今後さらに試験時間を延長しての計測、試験体形状や仕様を変更しての試験などを継続する予定である。

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2024年5月9日に開催し、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2024年5月13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各個に行い、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、2024年8月から11月にかけて参画する難燃薬剤処理木材メーカー3社においてスギ基材に対する難燃薬剤処理、乾燥、材の選別、切削加工、塗装等を実施した。これにより、ファサード試験用試験材、火炎伝播試験用試験材、低発熱コーン用試験材を作製し、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、難燃処理木材（低濃度難燃処理木材3種、通常濃度難燃処理木材1種）と無処理スギ材について、実火災に近い状態での燃えひろがり性状を確認することを目的に実施した（12月）。火炎伝播試験（ISO 5658-2）は（一社）電線総合技術センター（JECTEC）にて、低濃度難燃処理木材（3種）と無処理スギ材について実施した（12月）。低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）は（株）東京システムバックにて、低濃度難燃処理木材（3種）と無処理スギ材について実施した（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昨年度に引き続き試験方法を検証するために難燃処理木材（3種）を対象に試験を実施した（6月～）。また、屋外暴露試験については、日本大学にて、2021年度より開始していた屋外暴露のグループについての試験を継続しておこなった。

第2回委員会を2025年2月6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36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

ファサード試験（JIS A 1310）と火炎伝播試験（ISO 5658-2）および低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）との関係性を検証することを目的に、試験材A、B_S、B_R、C、N(9)を作製した。試験材はいずれもスギ（上小節）を基材とし、N(9)は厚さ9mm、それ以外は厚さ18mmとし、すべての試験において木おもて側を加熱面とした。

試験材 A は、以前に低注入材としてファサード試験等に供された薬剤量 51 kg/m^3 の試験材仕様¹¹⁾を基に、薬剤量をその半分として作製したもので、ファサード試験においては以前の実験と同じく本実加工ありのもの、試験材 B_Sおよび B_Rは、薬剤量が A と同程度で、薬剤がそれぞれ木表側、木裏側に偏在するよう調整した試験材とした。試験材 C は、2022 年度に通常濃度にて薬剤処理したもの、試験材 N(9)は、板厚 9 mm の無処理のスギ材で、これまでの試験体より燃焼しやすいものとして設定した。試験材 A にはオイルステイン系の、C には造膜型ウレタン系の塗装を施した。各試験材の難燃薬剤量は、試験材 A : 26.1 kg/m^3 、試験材 B_S : 24.7 kg/m^3 、試験材 B_R : 25.9 kg/m^3 、試験材 C : 182.8 kg/m^3 であった。

最外層を試験材 A、B_S、B_R、C、N(9)のものそれぞれとした高さ 4,095 mm×幅 1,820 mm のファサード試験用試験体を計 5 体作製し、それぞれファサード試験に供した。チャンバー内での発熱速度は 900 kW、加熱時間は 20 分間とし、試験体外装表面温度、外装より 50 mm 離れた位置の温度、中空層内の温度、試験体上部および対向面での入射熱流束を計測し、試験後に焼損状況を確認して写真撮影および炭化状況の確認を行った。試験時の外装材の燃焼の様子と試験後の観測結果をみると、無処理の N(9)は最も燃焼が激しく、その他の難燃薬剤処理がなされたものは燃えひろがりがかかなり抑制されていた。試験体 A では前述のように横目地からの火炎が燃えひろがりに影響したように考えられた。単純に炭化状況から見ると、燃えひろがりの危険性は概ね、 $C < B_R < B_S < A < N(9)$ となるが、加熱初期の着火範囲の拡大速度は B_Sよりも B_Rの方が明らかに大きかった。外装表面最高温度分布の比較などから、無処理スギでは板厚を薄くしたことで燃焼性がかなり増加したこと、開口上端から 2 m での外装表面最高温度は $C < B_S < A < B_R < N(9)$ の順になるが、500°C以上の継続時間を考慮すると総合的に A よりも B_Rの方が延焼性が低いと考えられることなどを明らかにした。また、A、B_S、B_Rのように薬剤量がかなり少ない状態であっても外壁の上階への燃えひろがりの危険性はさほど高くないことが明らかになった。

ファサード試験と同じ仕様の試験材 A、B_S、B_R、N(9)からなる試験体について、火炎伝播試験と低発熱コーンカロリメーター試験を実施した。低薬剤量とした A、B_S、B_Rを比較すると、火炎伝播距離は A (356.7 mm) < B_S (366.7 mm) < B_R (435.0 mm) の順となった。低発熱コーンカロリメーター試験では、B_Sは 1 次ピークが低く抑えられ 2 次ピークが B_Rより高めとなり、逆に B_Rは 1 次ピークでの発熱が大きく、A はその中間的な推移となるという発熱速度の推移の差異を明らかにしたほか、総発熱量で比較すると概ね $B_S < A < B_R$ の順となることなどを示した。

得られたファサード試験の結果と、火炎伝播試験、低発熱コーンカロリメーター試験の結果との関係を検証し、縦軸をファサード試験における開口上端から 2m 上方の外装表面最高温度、横軸を低発熱コーンカロリメーター試験での試験開始から 300 秒間の総発熱量とした場合にプロットの並びが一つのライン状に近くなること、更に整合性を上げるためには小型燃焼試験において目地等の影響も反映できる試験方法とする必要があることなどを示した。

2021 年度より開始していた難燃処理試験体の東西南北各方向の垂直屋外暴露試験（一部

は 2023 年度から) により、各仕様の 36 か月までの質量減少、色差、明度差、の推移を明らかにしたほか、紫外線蛍光灯促進耐候性試験機を用いた促進劣化試験により、2,016 時間までの難燃薬剤減少率などを明らかにした。

3.3 今後の課題・展開等

ファサード試験の結果と小型燃焼試験との対応については、今後も様々な仕様を対象として検証を進め、当てはまらない仕様や状況がないかを確認し適用可能な範囲を確かめる必要がある。さらに、紫外線劣化を加味した促進劣化試験方法についても引き続き取り組んでいく必要があり、屋外暴露による劣化の測定と合わせこれも今後の課題としている。

難燃処理木材を屋外使用した場合の耐候性評価方法として、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) を実施する方法が JIS として制定されているが、実製品を評価し、認証等を行う実施体制の形成が課題として残っている。それには試験体の作製、養生、試験方法のガイドラインを具体的に定めることに加え、試験での判定方法とその基準値を精査し定めなければならない。また、上記試験方法では、塗膜によって耐候性能を付与するものは対象とならないが、塗膜なしで耐候性が高い場合であっても美観や維持管理上の要求から塗装が望まれる場合もあり、対応可能な検証法が望まれる。

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 2025.2.27) .
- 2) 林野庁：森林・林業基本計画、<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/plan/>
(参照 2025.2.27) .
- 3) 林野庁：森林×SDGs
(https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/genjo_kadai/SDGs_shinrin.html)
(参照 2025.2.27) .
- 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) EN 13823:2020 : Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item
- 7) ISO 11925-2:2020 : Reaction to fire tests -- Ignitability of products subjected to direct impingement of flame -- Part 2: Single-flame source test

- 8) ISO 5658-2:2006 : Reaction to fire tests — Spread of flame — Part 2: Lateral spread on building and transport products in vertical configuration.
- 9) 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)
- 10) 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.
- 11) 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)、709-714 (2019).
- 12) 公益社団法人日本木材保存協会：令和 4 年度 木材製品の消費拡大対策のうち 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および難燃性能の統合的評価事業報告書」2023 年 2 月.
- 13) 西尾悠平：ファサード型火災実験を用いた可燃性外装材の燃え広がり性状及び評価基準に関する研究、東京大学博士論文、学位授与番号：12601 甲第 33156 号 (2016)
- 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) 公益社団法人日本木材保存協会：令和 4 年度 木材製品の消費拡大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 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評価事業報告書」2024 年 2 月.
- 16) 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.
- 17) 河原崎政行、平舘亮一、平林靖、川合慶拓、菊地伸一、大宮喜文：薬剤処理防火木材の燃焼抑制作用の経年劣化（第 3 報）屋外暴露 10 年経過後における燃焼性状、木材学会誌、69(1)、30-40 (2023)
- 18) 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).

令和5年度 林野庁補助事業

令和5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
促進劣化試験方法および燃焼試験方法の検討

2025年（令和7年）2月

公益社団法人 日本木材保存協会