薬剤処理防火木材の燃焼抑制作用の経年劣化 (第2報)[†]

水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材の屋外における劣化挙動^{*1}

河原崎政行^{*2}, 平舘亮一^{*2}, 平林靖^{*2}, 菊地伸一^{*3},
大宮喜文^{*4}, 李在永^{*5}, 野秋政希^{*6}, 中村昇^{*7}

Fire Retardancy of Fire-retardant-impregnated Wood after Natural Weathering II.[†]

Degradation behavior of fire-retardant-impregnated wood used with water-soluble fire retardant^{*1}

Masayuki KAWARASAKI^{*2}, Ryoichi HIRADATE^{*2}, Yasushi HIRABAYASHI^{*2},
Shinichi KIKUCHI^{*3}, Yoshifumi OHMIYA^{*4}, Jaeyoung LEE^{*5},
Masaki NOAKI^{*6} and Noboru NAKAMURA^{*7}

Wood samples treated with water-soluble fire retardants were exposed to natural weathering for up to 36 months at three locations in Japan. Three levels of retentions were applied to the fire-retardant-treated (FRT) wood samples. The duration of maintaining the fire-retardant performance based on the Building Standard Law of Japan was extended by applying excess retention to the initial FRT wood samples. On the other hand, it was presumed that the extended effects from excessive retention of initial FRT wood would be limited. Based on changes in the form of the heat release rate due to weathering and the fire-retardant retentions of weathered FRT wood samples, it was presumed that the fire-retardant retention in the wood samples decreased near the surface after weathering. It was also presumed that the gradient of fire-retardant retention in the wood samples affected the relation between total heat released and fire-retardant retention. Thus, to predict the fire performance of FRT wood after weathering, we suggest that the fire-retardant distribution in the wood be considered.

[†] Report I: This journal 64(3), 105-114 (2018).

^{*1} Received May 24, 2019; accepted July 11, 2019.

^{*2} 北海道立総合研究機構林産試験場 Forest Products Research Institute, Hokkaido Research Organization, Asahikawa 071-0198, Japan

^{*3} 北海道林産技術普及協会 Hokkaido Forest Products Technology Promotion Association, Asahikawa 078-8381, Japan

^{*4} 東京理科大学理工学部建築学科 Department of Architecture, Faculty of Science and Engineering, Tokyo University of Science, Noda 278-8510, Japan

^{*5} 東儀大学消防防災行政学科 Department of Fire Administration and Disaster Management, 176 Eomgwangro Busanjin-gu, Busan 47340, South Korea

^{*6} 建築研究所 Building Research Institute, Tsukuba 305-0802, Japan

^{*7} 秋田県立大学木材高度加工研究所 Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University, Noshiro 016-0876, Japan

Corresponding author: M. Kawarasaki, (kawarasaki-masayuki@hro.or.jp)

Keywords: fire retardancy, fire-retardant-treated wood, water-soluble fire retardant, natural weathering, retention of fire-retardant.

水溶性薬剤を用い、3水準の薬剤固形分量の処理を行った薬剤処理木材について、国内3地点において36ヶ月までの屋外暴露操作を行い、燃焼抑制作用の低減挙動および残存薬剤固形分量の低下挙動を検討した。発熱性試験の結果から、薬剤処理木材は、当初の薬剤固形分量に関係なく、暴露の経過に伴う燃焼抑制作用の低減が認められた。また、当初の薬剤固形分量を過剰にして性能に余裕を持たせることは、防火材料の基準性能維持期間の延長に有効であるが、延長できる期間には限界があると推測された。発熱性試験の結果および残存薬剤固形分量の算出結果から、屋外暴露後の薬剤処理木材は、材内の厚さ方向に薬剤固形分量の傾斜が生じると考えられた。また、薬剤処理木材の残存薬剤固形分量と総発熱量の関係には屋外暴露の影響が見られ、上述の暴露による材内の薬剤分布状況の変化が原因として推察された。このことは、屋外で使用した薬剤処理木材の防火性能の予測には、材内の薬剤分布状態を考慮する必要があることを示唆した。

1. 緒 言

近年、都市部の中高層建築物において、外装材に木材を使用する事例が見られようになった。それらは、主に意匠的な目的と考えられるが、大規模かつシンボリックな建物であることから、木材の需要拡大を促進する新規用途として期待される。現行の建築基準法では、中高層建築物の外壁について、厚さ方向の遮熱性能や遮炎性能に対する基準はあるが、外装材自体の燃えやすさに対する基準は無い。しかし、都市部において中高層建築物の外装材に木材を使う場合は、火災の際に隣棟や上階への延焼および消火活動への影響等の懸念から、建築主事等の判断で燃焼を抑制する薬剤処理等の防火措置が求められることが多い。一方、木材内に薬剤を注入した薬剤処理木材は、これまで主に内装材として使用されているため、屋外で使用した場合に燃焼抑制作用の低減が懸念されている。今後、薬剤処理木材を都市部の中高層建築物の外装に使用していくには、屋外における燃焼抑制作用の経年劣化挙動を把握するとともに、外装材に要求される耐用年数の期間、火災時の燃え広がりを抑制する技術開発が必要である。

このような中で、原田らは、水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材について、JIS K5600-7-7¹⁾に基づく促進劣化操作を行い、防火性能が残存薬剤固形分量に依存すること、薬剤の溶脱が表面から中心部に向かって進むことを報告した²⁾。更に、塗装した薬剤処理木材を4年間の屋外暴露に供し、油性の造膜系塗料を用いた塗装が薬剤の溶脱低減および燃焼抑制作用の維持に有効であることを示した³⁾。

また、著者らは、前報⁴⁾において60ヶ月までの屋外暴露の結果から、耐溶脱性のリン酸アミノ樹脂系薬剤を用いた薬剤処理木材は、水溶性のリン系・ホウ素系混合薬剤を用いた場合よりも残存薬剤固形分

量の低下が緩やかであることを示した。更に、フッ素樹脂系塗料とポリブタジエン樹脂系塗料を組み合わせた塗装は、屋外環境下での薬剤の溶脱を抑制し、燃焼抑制作用の維持に有効であること、およびその効果は木材に注入された薬剤の種類によって異なることを示した。

一方、近年、有機系物質を含む外装材や断熱材の使用により、耐火建築物の火災安全性が損なわれるとの懸念から、外装材の燃え広がりを評価する試験方法が2015年1月にJIS A1310⁵⁾として制定された。これを受けて、中村ら⁶⁾は、耐溶脱性のリン酸アミノ樹脂系薬剤を用いた準不燃材料水準の薬剤処理木材について、屋外環境を想定した促進劣化操作後の燃え広がり性状を同試験により評価した。その結果、上記の薬剤処理木材は、促進劣化操作により燃焼抑制作用が低減するが、燃え広がりを抑制する性能は維持されることを示した。

以上のように、現在、薬剤処理木材について、屋外における燃焼抑制作用の低減挙動および燃焼抑制作用の維持に関する知見が蓄積され始めている。また、外装材の燃え広がりを評価する試験方法が制定されたことから、今後、外装用の薬剤処理木材に対する防火性能の基準化・性能評価手法の確立、それらに応じた製品開発が行われることが期待される。

本報では、前報⁴⁾に引き続き、薬剤処理木材の屋外における燃焼抑制作用の低減挙動について更なる知見の蓄積のため、水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材を無塗装の状態で36ヶ月間の屋外暴露を行い、燃焼抑制作用の低減挙動および残存薬剤固形分量の低下挙動、ならびに両者の関係を検討した結果を報告する。

Table 1. Specifications of specimens for outdoor weathering.

Name	Fire retardant	Weathering location	Chemical retention L^a (kg/m ³)				
			Weathering period (Months)				
			0	3	6	12	36
N	—	Asahikawa	0	—	—	—	—
AH		Asahikawa	249	246	250	253	255
		Noda	—	247	250	253	255
		Osaka	—	249	251	254	256
AM	Mixture of phosphoric acid and boric acid	Asahikawa	156	151	153	154	155
		Noda	—	151	153	155	155
		Osaka	—	153	154	155	155
AL		Asahikawa	70	70	70	70	71
		Noda	—	70	70	71	72
		Osaka	—	70	70	71	71

Note: a) Average of three specimens. Chemical retention L was calculated according to equation (1).

2. 実験方法

2.1 供試材料

試験体には、スギ (*Cryptomeria japonica*) の心材 (全乾密度320~398 kg/m³) を用い、寸法をL140×T105×R18 mmとした。木材に注入する薬剤は、市販品の水溶性薬剤 (リン系・ホウ素系混合薬剤) とした。

2.2 薬剤の注入処理

注入処理前の木材は、強制循環式恒温乾燥器を用いて60℃で72時間乾燥させた後、デシケータ内で常温まで冷却させた。薬剤は、水道水を用いて希釈し、濃度10、20および32%の3水準に調整した。それらの薬液は、減圧加圧注入処理装置により木材に注入した。減圧加圧条件は、減圧が0.01 MPaで30分間、加圧が0.70 MPaで17~18時間とした。

注入処理後の各木材の薬剤固形分量 L は、処理前後の重量、体積、薬液濃度から以下の式 (1) を用いて算出した。そして、それらの処理木材のうち薬剤固形分量 L が、薬液濃度10%では63~77 kg/m³、薬液濃度20%では134~166 kg/m³、薬液濃度32%では227~277 kg/m³を、それぞれ試験体 AL、AM および AH に使用した。試験体は、室内で数日間風乾した後、強制循環式恒温乾燥器で含水率11%前後まで乾燥させた。

薬剤固形分量 L (kg/m³) =

$$\left((W_2 - W_1) \times \frac{C}{100} \right) \times \frac{1}{V} \quad (1)$$

W_1 : 注入処理前の木材の重量 (kg)

W_2 : 注入処理後 (乾燥前) の木材の重量 (kg)

C : 薬液濃度 (%)

V : 注入処理前の木材の体積 (m³)

2.3 屋外暴露

試験体の概要および暴露期間を Table 1 に示す。試験体の暴露は、旭川市、野田市、大阪市の3地点で行い、暴露期間36ヶ月までのデータを本報に用いた。各地点の暴露中の気象条件を Table 2 に示す。

試験体数は、各暴露地点において暴露期間ごとに各種類3体用意した。試験体は、暴露前に木口面を1液性エポキシ樹脂の2回塗布によるシールをした。暴露にはアルミ製の枠材により長さ方向の両端部が固定される暴露台を用い、暴露面が南向きに、地面に対して垂直になるように試験体を設置した。

試験体は、Table 1 に示す期間を経過した後暴露台から取り外し、木口シール材を除去した後、Fig. 1に示すように発熱性試験片および残存薬剤固形分量の算出に用いる含水率測定片を採取した。

2.4 発熱性試験

試験方法は、指定性能評価機関の定める「防耐火性能試験・評価業務方法書」⁷⁾ に準じた。試験片は、寸法をL99×T99 mmとし、試験前には23℃・50%RHの恒温恒湿装置内で、24時間の質量変化率が0.1%以下になるまで養生した。

試験装置はISO5660-1⁸⁾ に準拠するコーンカロリー計試験装置 (暴露0~3ヶ月: 東洋精機製作所製、暴露6~36ヶ月: FTT社製) を用いた。試験片は、側面と裏面を厚さ0.025 mmのアルミニウムはくで覆い、密度65 kg/m³の無機質繊維を充てんしたホルダーに設置し、94×94 mmの開口を持つ押さえ枠で覆った。

試験片への加熱は、垂直方向で熱流束を50 kW/

Table 2. Climate of weathering locations.

Place	North latitude (deg.)	East longitude (deg.)	Weathering period (Months)	Total precipitation ^{a)} (mm)	Average temperature ^{a)} (°C)	Total sunshine duration ^{a)} (h)
Asahikawa	43	142	3	394	19.3	516.6
			6	854	15.9	876.3
			12	1256	6.9	1544.1
			36	3791	7.2	4735.9
Noda	36	140	3	561 ^{b)}	23.6 ^{b)}	491.0 ^{b)}
			6	1020 ^{b)}	21.4 ^{b)}	957.1 ^{b)}
			12	1557 ^{b)}	14.3 ^{b)}	2031.1 ^{b)}
			36	4188 ^{b)}	14.4 ^{b)}	6614.2 ^{b)}
Osaka	35	135	3	656	25.9	539.2
			6	1250	22.3	1056.2
			12	1651	16.9	2027.4
			36	4556	17.0	6510.7

Note : Weathering was started on May 20, 2011.

a) According to materials of the Japan Meteorological Agency.

b) The data for Noda are for its neighboring city Tsukuba.

Fig. 1. Preparation of specimens for cone calorimeter tests and measuring of moisture content.

m²とし、電気スパークによる口火ありの条件とした。加熱時間は、AHと無処理試験体のNでは20分間、AMでは10分間、ALでは5分間とした。加熱中は、排気ダクト内の酸素濃度、ダクト温度等を1秒間隔で測定し、それらの値から単位面積当たりの発熱速度および総発熱量を算出した。

2.5 残存薬剤固形分量

含水率測定用試験片は、発熱性試験用試験片と同様に23℃・50%RHの恒温恒湿装置内で、24時間の質量変化率が0.1%以下に達するまで養生した。養生後の試験片は、寸法および質量を測定した後、全乾法により含水率を算出した。

養生後の含水率測定試験片の質量、体積、含水率および養生後の発熱性試験片の質量、体積から、以下の式を用いて試験体の全乾密度を求め、試験体に用いた木材の全乾密度との差から残存薬剤固形分量を算出した。

残存薬剤固形分量(kg/m³) =

試験体の全乾密度(kg/m³) - (2)

注入処理前の木材の全乾密度(kg/m³)

$$\text{試験体の全乾密度(kg/m}^3\text{)} = \left(\frac{W_1 + W_2}{1 + \frac{M}{100}} \right) / (V_1 + V_2) \quad (3)$$

W_1 : 養生後の発熱性試験片の質量 (kg)

W_2 : 養生後の含水率測定試験片の質量 (kg)

M : 養生後の含水率 (%)

V_1 : 発熱性試験片の体積 (m³)

V_2 : 含水率測定試験片の体積 (m³)

3. 結果と考察

3.1 発熱性試験

3.1.1 発熱速度の推移

一例として、野田に設置した試験片について、暴露による発熱速度の変化をFig. 2に示す。図には、比較のために無処理試験片Nのデータを併記した。図中の試験片は、同じ種類の3片の中から総発熱量が2番目に大きいものとした。

暴露前では、AHおよびAMはともに着火せず、10 kW/m²前後の低い発熱速度で加熱終了時まで推移した。最も低い薬剤固形分量水準であるALは、加熱中に間欠的な有炎燃焼を生じ、上記2種類より

Fig. 2. Typical heat release rate curves of specimens weathered in Noda up to 36 months.

Note: Total heat release of these specimens is the second highest in each of the groups. Specifications of these specimens are shown in Table 1.

も高い発熱速度で推移した。暴露後の処理試験片は、暴露期間の経過とともに、有炎燃焼が一時的なものから加熱終了時まで継続するものへと変化した。処理試験片の発熱速度は、加熱中の燃焼挙動を反映し、暴露期間の経過とともに全体的に高くなった。なお、これらの屋外暴露に伴う発熱速度の変化は、旭川および大阪の試験片でも同様に認められた。

3.1.2 総発熱量および最高発熱速度

処理試験片について、暴露期間の経過に伴う総発熱量の変化を Fig. 3 に示す。処理試験片の総発熱量は、全ての種類において暴露期間の経過とともに増加した。防火材料の国土交通大臣認定の際に行われる性能評価試験では、総発熱量が 8 MJ/m^2 を超えないことを判定基準とし、試験体への加熱時間を不燃材料では20分間、準不燃材料では10分間、難燃材料では5分間として評価する⁷⁾。各処理試験片の総発熱量の平均値をそれらに照会すると、暴露前では、AHは不燃材料、AMは準不燃材料、ALは難燃材料の基準を満たした。暴露後では、AHは3ヶ月で、AMは暴露12ヶ月で、ALは、暴露6ヶ月で当初の防火材料の基準を満たさなくなり、当初の薬剤固形分量に関係なく燃焼抑制作用の低下が認められた。また、AHとAMについて、難燃材料の基準と比

較すると、ともに暴露36ヶ月で基準を満たさなくなり、ALよりも長期間性能を維持した。このことから、当初の薬剤固形分量を過剰にし、想定する防火材料の基準性能に対して余裕を持たせることで、維持期間の延長が可能と考えられた。ただし、AHとAMは、当初の薬剤固形分量 L に 100 kg/m^3 前後の差があるが、難燃材料の性能維持期間が同じであることから、当初の薬剤固形分量を過剰にすることによって延長できる期間には限界があると推測された。

中村らは、外装材に用いた薬剤処理木材の燃え広がりをファサード試験⁵⁾で評価するとともに、発熱性試験の結果と比較検討した。その結果、発熱性試験の5分間総発熱量が $14 \sim 15 \text{ MJ/m}^2$ の薬剤処理木材が、ファサード試験において燃え広がりを抑制する結果を示した⁶⁾。それらを基に、各試験体の5分間総発熱量の平均値から燃え広がりを抑制する期間を推測すると、AHとAMでは36ヶ月間、ALでは12ヶ月間であり、当初の薬剤固形分量の増加とともに、燃え広がりの抑制期間が長くなった。ただし、薬剤処理木材のファサード試験での燃え広がり性状と発熱性試験での発熱性状の関係については、現状では検討事例に限られているため、燃え広がり抑制期間の明言には更なる検討が必要である。

Fig. 3. Total heat release according to cone calorimeter tests after weathering up to 36 months.

Note: See Table 1, $n=3$, value: average, error bar: standard deviation, 8 MJ/m^2 is a criterion for Fire performance of materials⁷⁾.

Fig. 4. Peak of heat release rate for 5 min according to cone calorimeter tests after weathering up to 36 months.

Note: See Table 1 and Fig. 3, value: average, error bar: standard deviation.

原田等¹⁾は、水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材について、ウェザーメータによる促進劣化操作後における材内の薬剤分布をエネルギー分散形X線分析装置を備えた走査型電子顕微鏡 (SEM-EDX) により観察し、薬剤の溶脱が操作時間の経過とともに表面から内部に進行することを示した。このことを踏ま

えて、薬剤処理木材の表層の燃焼性状について、加熱初期における最高発熱速度から考察する。加熱5分間の最高発熱速度について、暴露期間の経過に伴う変化を Fig. 4 に示す。

処理試験片の最高発熱速度は、全ての種類において暴露期間の経過とともに増加した。処理試験片の種類間には、暴露前では最高発熱速度に明確な差が見られるが、暴露の経過に従いそれらの差が小さくなり、暴露36ヶ月では同程度になった。また、36ヶ月経過した処理試験片の最高発熱速度は、Fig. 2 に示す無処理試験片の加熱初期の最高発熱速度と同程度であった。これらの結果から、本試験で用いた水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材は、当初の薬剤固形分量に関わらず、屋外暴露による薬剤の溶脱によって、36ヶ月経過時には表層付近の薬剤がほぼ失われることが推察された。

3.2 残存薬剤固形分量と総発熱量の関係

各処理試験体について、残存薬剤固形分量と総発熱量の関係を Fig. 5 に示す。全ての処理試験体は、残存薬剤固形分量の低下とともに総発熱量が増加しており、暴露による薬剤の溶脱が燃焼抑制作用低減

Fig. 5. Relationship between retention of fire retardant and total heat release.

Note: See Fig. 3, symbols of these specimens in each weathering period include three retention levels.

Fig. 6. Relationship between retention of fire retardant and total heat release for 5 min.

Note: See Table 1 and Fig. 3, symbols of these specimens in each fire retardant retention include the five weathering periods, regression lines are calculated by Statistical analysis software "R"⁹⁾.

の主な原因であることが分かる。原田等¹⁾は、JIS K5600-7-7に基づく促進劣化操作を行った薬剤処理木材について、発熱性試験の結果と残存薬剤固形分量の関係を検討し、防火性能が残存薬剤固形分量に依存することを報告したが、上記の結果からも同様の関係が認められた。

全ての暴露期間を対象とし、処理試験体の種類ごとの残存薬剤固形分量と5分間総発熱量の関係を

Fig. 6に示す。図には、処理試験体の残存薬剤固形分量が全て失われた場合を想定し、無処理試験体のデータを併記した。さらに、処理試験体と無処理試験体のデータを基に、統計解析プログラムソフトRを使用して、処理試験体の種類ごとに非線形最小二乗法による漸近指数曲線⁹⁾を算出し、図中に記した。

当初の薬剤固形分量が最も大きいAHは、暴露期間の経過とともに残存薬剤固形分量が低下し、暴露前のAMおよびALよりも小さくなった。同程度の残存薬剤固形分量で比較すると、暴露後のAHの総発熱量は、暴露前のAMおよびALよりも全体的に大きくなる傾向が見られた。3.1.2では、処理試験体は、屋外暴露による薬剤の溶脱により、36ヶ月経過時には表層の薬剤がほとんど失われると推察された。一方、Fig. 5では、暴露36ヶ月経過後の処理試験体は、ほとんどが残存薬剤固形分量を有していることから、木材の厚さ方向に薬剤固形分量の傾斜が生じていると考えられた。さらに、原田等¹⁾が報告した、薬剤処理木材の薬剤の溶脱が表面から内部に向かって進行する挙動を踏まえると、屋外暴露後の薬剤処理木材は、厚さ方向に薬剤固形分量の傾斜が生じると考えられた。

これらのことから、上記の処理試験体の残存薬剤固形分量と5分間総発熱量の関係への屋外暴露の影

響は、暴露前後における木材内の薬剤分布状態の変化が原因と推察された。また、このことは、屋外で使用された薬剤処理木材の防火性能の評価には、残存薬剤固形分量のみではなく、木材内の薬剤分布状態を考慮する必要があることを示唆した。

4. 結 論

水溶性のリン系・ホウ素系混合薬剤を用い、3水準の薬剤固形分量の処理を行った薬剤処理木材について、無塗装の状態では屋外に暴露し、燃焼抑制作用の低減挙動と残存薬剤固形分量の低下挙動、ならびに両者の関係を検討した結果、以下の知見が得られた。

1. 本研究の水溶性薬剤を用いた薬剤処理木材は、当初の薬剤固形分量水準に関係なく、屋外暴露による焼抑制作用の低減が認められた。また、当初の薬剤固形分量を過剰にして性能に余裕を持たせることは、防火材料の基準性能の維持期間延長に有効であるが、延長できる期間には限界があると推測された。
2. 屋外暴露後の薬剤処理木材は、当初の薬剤固形分量水準に関係なく、暴露中の薬剤の溶脱により、材内の厚さ方向に薬剤固形分量の傾斜が生じると考えられた。
3. 薬剤処理木材の残存薬剤固形分量と総発熱量の関係には、屋外暴露の影響があり、材内の薬剤分布の変化が原因として推察された。また、このことは、屋外暴露後の薬剤処理木材の防火性能の予測には、残存薬剤固形分量に加えて材内の薬剤分布を考慮する必要があることを示唆した。

謝 辞

本研究は林野庁「平成22年度地域材利用加速化緊急対策支援事業」の一環として、日本木材防腐工業組合からの委託により実施した。屋外暴露試験の実施においては、越井木材工業(株)の技術開発室の皆様にご多大な御協力をいただき、ここに感謝の意を表します。

文 献

- 1) JISK5600-7-7: 塗料一般試験方法-第7部: 塗膜の長期耐久性-第7節: 耐候性及び促進耐候性(キセノンランプ法). 日本規格協会(2008).
- 2) Harada, T., Matsunaga, H., Kataoka, Y., Kiguchi, M. and Matsumura, J.: Weatherability and combustibility of fire-retardant-impregnated wood after accelerated weathering tests. *J. of Wood Sci.*, **55**(5), 359-366 (2009).
- 3) 原田寿郎, 片岡 厚, 松永浩史, 上川大輔, 亀岡祐史, 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).
- 4) 河原崎政行, 平館亮一, 平林 靖, 菊地伸一, 大宮喜文, 李在永, 野秋政希, 中村 昇: 薬剤処理防火木材の燃焼抑制作用の経年劣化(第1報)屋外暴露60ヶ月における薬剤の種類と塗装の影響. 木材学会誌, **64**(3), 105-114 (2018).
- 5) JISA1310: 建築ファサードの燃えひろがり試験方法. 日本規格協会(2015).
- 6) 中村美紀, 兼松 学, 西尾悠平, 神田友輔, 杉田敏之, 萩原伸治, 清水 賢, 吉岡英樹, 野口貴文, 田村政道, 棚池 裕, 松本悠実: 促進劣化試験後の難燃処理木材ファサードの燃えひろがり評価. 日本建築学会学術講演梗概集, 防火, 2018, pp. 211-214.
- 7) 例えば, “防耐火性能試験・評価業務方法書(平成12年6月1日制定, 平成28年6月1日変更)”, (一財)日本建築総合試験所: <http://www.gbrc.or.jp/contents/documents/center/8A-103-01.pdf>. 2016年8月30日参照.
- 8) ISO5660-1: Reaction to fire tests-Heat release, smoke production and mass loss rate-Part 1: Heat release rate (cone calorimeter method). International Organization for Standardization (2002).
- 9) 青木繁信: “多変量解析. Rによる統計解析”, オーム社, 東京, 2009, pp. 168-174.