

## 県産スギ材による準不燃材料の開発

Development of fire-proofing materials for sugi of Gunma

小黒正次・片岡夕美子・竹内康浩・町田初男・茂木のり恵\*

県産スギ材の需要拡大を図るため、環境負荷が少なく安全性の高い難燃薬剤によるスギ準不燃材料の開発を行った。

- 1 難燃薬剤の固定量と難燃性能の関係から、準不燃材には  $150\text{kg/m}^3$  が有効な処理量と考えられる。
- 2 スギを SKO-3000 で処理することで、曲げ強さは 8.3 %、曲げヤング係数は 14.9 % 上昇する。
- 3 SKO-3000 処理材に使用可能な接着剤は、変性酢酸ビニル樹脂エマルジョン系が適当と考えられる。
- 4 表面処理材のガス有害性能は、無処理赤ラワンが 6.8 分に対して表面処理材は 13.6 分であり、燃焼時のガス有害性能をクリアした。
- 5 表面処理材の吸湿性は、無処理スギ材とほぼ同じであり、寸法変化は 2 分の 1 以下である。また、吸水量、寸法変化は共に 2 分の 1 以下である。
- 6 SKO-3000 にシラン系カップリング剤等を添加することで、高温時の析出が減少し、準不燃をクリアした。
- 7 外装材としての表面処理剤に 3 種類を選択したが、いずれもカーボンアーク 660 時間がメンテナンス時期と考えられる。

キーワード：スギ、準不燃、内装材、外装材

### I はじめに

平成12年の建築基準法の改正に伴い、従来の防火材料の評価方法が大幅に変更され、保育園や病院など不特定多数の人が利用する建物でも一定の性能を満たせば木材の使用が認められるようになった。

難燃処理方法として、二液処理で木材の内部にリン酸バリウムを生成させたり、シラノール塩、ホウ酸、リン酸系の薬剤を注入して難燃化した木材などが各地で開発されているが、技術開発に当たっては天然物由来で不均質な材料である木材にいかにか均一に再現性よく必要量の薬剤を固定させるかがポイントとなる。さらに安価で安全な材料の開発が今後の課題である<sup>1)</sup>。

一方、難燃処理木材について、国土交通大臣認定の準不燃木材の中で表面塗装されていることが明らかなのは3件のみで、他は無塗装で認定されている。何らかの現場塗装が行われた場合、本来の防火性能が発揮されるか不明な点が多い<sup>2)</sup>。

---

\* (株) 日本防災化学研究所 \*\*高崎環境森林事務所

これまでスギの需要拡大を目標に、集成材、カラマツ複合集成材及び正角合わせ貼り平角など、住宅構造材への利用を検討した。これらに加えて内装材への利用を図るため、環境負荷が少なく安全性の高い難燃薬剤によるスギ準不燃材料の開発を行った。

## II 方 法

### 1 準不燃内装材の開発

#### (1) 析出防止用表面処理剤の選定

供試した難燃薬剤 SKO-3000は無機リン酸、窒素系の水溶性であるため、高湿度下において薬剤が析出する欠点がある。この防止策として、塗付タイプの表面処理剤で析出を防止する方法を検討した。

まず、SKO-3000 を含浸したスギ（以下難燃処理材） $t12 \times w100 \times L 100\text{mm}$  の木口面をエポキシ系樹脂でコーティング後、水を滴下することにより撥水性のある塗料、ワックス類 16 種類を仕様に従って塗付した。なお、塗料はシックハウス症候群の原因とされるホルムアルデヒド、トルエン、キシレン等を含有しないものを対象とした。

1 週間養生後、 $27^\circ\text{C}$  90 % RH の恒温恒湿室に 24 時間放置し、薬剤の析出状況から燃焼試験用塗料を選定した。

#### (2) 表面処理材の発熱性能

予備実験と同様にスギを SKO - 3000 で処理し、薬剤の固定量と発熱性能について検討した。

次に、表面処理した試験片で乾湿くり返しによる溶脱操作を行い、薬剤の析出の有無を観察した。

溶脱条件は、JIS Z 2101 木材の吸湿試験方法を参考に  $40^\circ\text{C}$  90 % RH 24h、 $40^\circ\text{C}$  40 % RH 24h を 1 サイクルとして 5 サイクル後に析出のない試験片を燃焼試験に供した。

発熱性能は、ISO-5660-1 コーンカロリメータにより、輻射強度  $50\text{kw}/\text{m}^2$ 、加熱時間 10 分間における総発熱量等で評価した。

#### (3) 難燃処理材の強度性能

難燃処理することにより密度が大きくなるため、無処理材との曲げ強度を比較した。JIS Z 2101 木材の曲げ試験方法に準じて、一辺20mm、スパン14倍として3点曲げ試験を行った。供試体は5試験料とし、同じ材料を二等分して難燃処理を行った。その後、除湿乾燥を行い所定の含水率に乾燥し、処理、無処理材共に $30^\circ\text{C}$ 、75%RH 48 hで調湿して曲げ試験に供した。

#### (4) 難燃処理材の接着性能

難燃処理材の接着にあたり、木工用として一般的な乳白濁の接着剤はゲル化して使用できないため、適正接着剤を検討した。難燃処理材に使用可能な接着剤として、ホルムアルデヒドを含むユリア・メラミン樹脂系と、硬化阻害を生じた酢酸ビニル樹脂エマルジョン及び水性高分子イソシアネート系を除外した結果、変性アクリル樹脂エマルジョン系 (CY) と変性酢酸ビニル樹脂エマルジョン系 (MB) の2種類を選択した。

評価は、JAS集成材に準じてブロックせん断試験と煮沸はく離試験を行った。供試体は各 10 試験料とし、同じ材料を2等分して難燃処理を行い、乾燥後接着試験体を作製した。接着条件は、塗布量  $120 \text{ g}/\text{m}^2$ 、圧縮圧力  $0.784 \text{ N}/\text{m}^2$ 、圧縮時間 4 h として1週間養生後、試験に供した。

前者は クロスヘッドスピード  $1 \text{ mm}/\text{min}$  でせん断接着力と木部破断率（木破率）を、後者は煮沸 4 h - 常温水 1 h -  $70^\circ\text{C}$  乾燥 24 h 後、はく離率を求めた。

#### (5) 表面処理材のガス有害性能

燃焼時に発生する煙の有害性を評価するため、ガス有害性試験を行った。供試体は2試料とし、 $t\ 50 \times w\ 220 \times L\ 220\ \text{mm}$ のスギ材に発熱性能試験と同様に難燃処理を行い、析出防止用の表面処理を行った。これを(財)建材試験センターの建築材料燃焼試験装置により6分間加熱し、マウスが行動を停止するまでの時間 $X_s$ を次式で求めた。

$$X_s = \bar{X} - \sigma$$

$\bar{X}$  : 8匹のマウスが行動停止するまでの平均時間 (分)  
 $\sigma$  : 8匹のマウスが行動停止するまでの標準偏差 (分)

(6) 表面処理材からのホルムアルデヒド放出量

ホルムアルデヒドの放出量は、JAS 難燃合板に準じてデシケータ法で行った。供試体は、難燃処理した  $t\ 12 \times w\ 50 \times L\ 150\ \text{mm}$  で、表面積が  $1,800\ \text{cm}^2$  に最も近くなる 10 枚のスギに析出防止用の表面処理を行い、300ml の蒸留水に 24 時間吸着させた。

なお、ブランクとして同じサイズの無処理スギを供試した。

(7) 塗膜の性能

準不燃内装材の一般的な用途は壁面であるが、台所のガスレンジ周辺に使用されることを想定し、JAS 特殊合板の F タイプに準じて汚染 A、耐アルカリ、耐酸及び寒熱繰り返し試験を行った。

試験条件は表-1のとおり。

表-1 試験条件

試験項目	条件
汚染 A	青インキ、黒マジックインキおよび赤クレヨンで幅10mmの線を引き、4時間後溶剤等で拭き取る。
耐アルカリ	1%炭酸ナトリウム水溶液を滴下し、時計皿で6時間被覆後水洗し、24時間放置する。
耐酸	5%酢酸水溶液を滴下し、時計皿で6時間被覆後水洗し、24時間放置する。
乾熱繰り返し	60℃2時間、-20℃2時間を1サイクルとして、10サイクル繰り返し。

(8) 吸湿性能と寸法変化

難燃処理及び表面処理材の吸湿性能を把握するため、JIS Z 2101 木材の吸湿試験に一部準じて吸湿量を求めた。供試材は  $t\ 12 \times w\ 85 \times L\ 900\ \text{mm}$  本実目透かし材(裏溝の幅 30mm、深さ 2mm) 各 3 枚を  $40\ ^\circ\text{C}\ 75\ \% \text{RH}$  で 1 週間養生後、 $27\ ^\circ\text{C}\ 90\ \% \text{RH}\ 24\ \text{h}$  で吸湿させ、次式で吸湿量を求めた。あわせて、幅方向の寸法変化を測定した。

$$\text{吸湿量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{吸湿後の質量 (g)} - \text{吸湿前の質量 (g)}}{\text{吸湿面積 (cm}^2\text{)}}$$

次に、施工後の経時変化を把握するため、実大材 ( $t12 \times w\ 110 \times L\ 1,820\ \text{mm}$ ) の重量変化と寸法変化を測定した。湿潤時の環境は、吸湿試験と同じ条件で、乾燥時は  $40\ ^\circ\text{C}\ 50\ \% \text{RH}\ 72\ \text{h}$  で行った。

(9) 吸水性能と寸法変化

表面処理材の吸水性能を把握するため、JIS Z 2101 木材の吸水試験に準じて吸水量を求めた。供試材は  $t\ 12 \times w\ 85 \times L\ 100\ \text{mm}$  本実目透かし材(裏溝の幅 30mm、深さ 2mm) 各 3 枚を、3ヶ月間室内で養生したものを  $22\ ^\circ\text{C}$  の水中に 24 時間浸漬し、次式で吸水量を求めた。

$$\text{吸水量 (g/cm}^2\text{)} = \frac{\text{吸水後の質量 (g)} - \text{吸水前の質量 (g)}}{\text{吸水面積 (cm}^2\text{)}}$$

あわせて、幅方向の寸法変化を測定した。

#### (10) 樹脂混合による析出防止

難燃処理材は高湿度の環境下で薬剤が溶脱し、乾燥により析出（白化現象）を生じるため、表面処理で防止したものである。しかし、薬剤の含浸量が多すぎたり、現場の鋸断加工の際に木口処理が不十分な場合は析出が生じる恐れがある。

そこで、SKO-3000に添加剤を加えることで、薬剤の析出防止を試みた。まずSKO-3000に数種類の添加剤を配合し、 $t 12 \times w 102 \times L 500$ mmのスギ板目材に規定量を含浸した。これらを乾燥後、 $t 10 \times w 100 \times L 100$ mmに仕上げ、耐候操作後の析出の有無を観察した。耐候操作は、 $27^{\circ}\text{C}$  90% RH 24h、 $40^{\circ}\text{C}$  24hを1サイクルとした乾湿繰り返しを5サイクル行った。

また、表面処理した試験体も同様に耐候操作を行いサイクルごとの重量変化を測定した。なお、析出防止に効果の認められたものは耐候操作5サイクル終了後に表面処理し、再び5サイクルを行った。

#### (11) 樹脂混合材の発熱性能

析出防止効果の認められた混合処理材に表面処理をし、耐候操作を1サイクル行って析出のないことを確認し、ISO-5660-1 コーンカロリメータにより、輻射強度  $50\text{kw} / \text{m}^2$ 、加熱時間 10 分間における総発熱量等で発熱性能を評価した。

### 2 準不燃外装材の開発

#### (1) 外装材の耐候性

難燃処理材に耐候性を付与するため、表面処理剤の選択を行った。まず、内装用に使用しているシーラーとその他のシーラーの効果を確認するため、シーラーに木材保護塗料を塗布し、スガ試験機製ウェザーメータ WEL-75XS-LHP-BECでカーボンアークによる照射、散水（1時間に12分）と $27^{\circ}\text{C}$  90%RH 24hの繰り返しを行い、色差と析出の様子を観察した。

次に、再乾燥時の乾燥温度が耐候性に及ぼす影響を把握するため、難燃処理後、乾球温度 $80^{\circ}\text{C}$ （中温）と $120^{\circ}\text{C}$ （高温）で再乾燥を行い、自然系と称される外装用塗料、木材保護塗料及びエポキシ樹脂系シーラー等で表面処理した。

また、木口シーリング剤の選択を行うため、4種類のシーリング剤を木口面に塗布した。これらをウェザリング660時間後、色差と塗膜の状態等を観察した。塗膜とシーリング剤の状態は目視で行い、付着性はJIS K5600 5-6に準拠した。

#### (2) 促進耐候性試験後の発熱性能

促進耐候試験後の発熱性能を把握するため、ISO-5660-1 コーンカロリメータにより、輻射強度  $50\text{kw} / \text{m}^2$ 、加熱時間10分間における総発熱量等を測定した。

### III 結果及び考察

#### 1 準不燃内装材の開発

##### (1) 析出防止用表面処理剤の選定

水滴により撥水性を有した塗料は 10 種類であり、天然樹脂系やPEGMA（ポリエチレングリコールメタクリレート）等も含まれていたが、 $27^{\circ}\text{C}$  90% RH 24時間の環境で薬剤の析出を防止できたのは2種類の塗料であった。

さて、薬剤処理した無塗装は全面に析出が認められた。一方析出を防止した2種類はともにクリア系であるが、仕上げ工程におけるつや消し剤の混合割合が多くなるほど、析出防止効果は減少し

た。つや消し剤は光を乱反射させるため粒子が大きく、混合割合が多くなるほど薬剤が溶脱するものと考えられる。

(2) 表面処理材の発熱性能

薬剤の固定量と難燃性能について表-2に示す。準不燃材料の基準を満たすためには、①総発熱量が 8MJ/m<sup>2</sup>以下であること。②防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴が発生しないこと。③発熱速度が 10 秒以上継続して 200kW/m<sup>2</sup>を超えないことが必要である。

その結果、固定量 110、120kg/m<sup>3</sup> は難燃材料に、150kg/m<sup>3</sup> は準不燃材料と判定された。130 ~ 140kg/m<sup>3</sup> での性能は不明であるが、材料のバラツキを考慮して準不燃材には 150kg/m<sup>3</sup> の固定量が有効な処理量と考えられる。

溶脱後の発熱性能について表-3に示す。無塗装材は溶脱操作により表面に薬剤の析出が認められ、操作前の総発熱量である 4.65MJ/m<sup>2</sup>から 6.35MJ/m<sup>2</sup>に増加したものの、準不燃材料をクリアした。

また、UR、MOは共に析出を防止し、準不燃材料をクリアした。

表-2 薬剤の固定量と発熱性能

固定量 kg/m <sup>3</sup>	総発熱量 MJ/m <sup>2</sup>	防火上有害な 変形	10秒以上200kW/m <sup>2</sup> 以上の発熱	性能
110	25.96	なし	なし	難燃
120	23.36	なし	なし	難燃
150	7.69	なし	なし	準不燃

表-3 溶脱後の発熱性能

表面処理	総発熱量 MJ/m <sup>2</sup>	防火上有害な 変形	10秒以上200kW/m <sup>2</sup> 以上の発熱	性能
なし	6.35	なし	なし	準不燃
UR	7.60	なし	なし	準不燃
MO	4.81	なし	なし	準不燃

(3) 難燃処理材の強度性能

強度試験の結果を表-4に示す。スギ無処理材の曲げ強さと曲げヤング係数の平均は、それぞれ 59.9 N/mm<sup>2</sup>、8.03 k N/mm<sup>2</sup>に対して難燃処理したスギは、64.9 N/mm<sup>2</sup>、9.23/k N/mm<sup>2</sup>であり、曲げ強さが 8.3 %曲げヤング係数が 14.9 %上昇した。

この試験は、建築関係業者からの問い合わせに対して行ったものであるが、いずれにも有意差が認められたことから、難燃処理することで強度性能が向上することが確認された。

表-4 難燃処理材の強度性能

	曲げ強さ N/mm <sup>2</sup>	標準偏差 N/mm <sup>2</sup>	曲げヤング係数 kN/mm <sup>2</sup>	標準偏差 kN/mm <sup>2</sup>
無処理	59.9**	3.58	8.03*	0.31
難燃処理	64.9**	3.45	9.23*	0.44

\*:5%有意 \*\*:1%有意

(4) 難燃処理材の接着性能

ブロックせん断試験の結果を表-5に示す。CYの無処理材は、せん断接着力の平均 4.3 N/mm<sup>2</sup>、木破率 65%であり基準値の 5.3 N/mm<sup>2</sup>を 70%下回った。この接着剤を木材に使用するためには、増粘剤で粘度調整をする必要があるが、水との混合が困難であるため所定の粘度に至らなかった。そのために造膜形成が不十分となり接着力、木破率共に低い結果になったものと思われる。

一方、処理材は接着力 7.7 N/mm<sup>2</sup>、木破率 75%と集成材の基準値をクリアした。難燃処理することで比重と硬さが増加し、接着剤の浸透が抑制されたものと思われる。しかし、煮沸によるはく離率が 30%に達し、基準値の 5%以下をクリアできなかった。

さて、MBは無処理 6.5 N/mm<sup>2</sup>、処理材 6.1 N/mm<sup>2</sup>と接着力は良好であり、両者の木破率も 100%、煮沸後のはく離は認められないことから、難燃処理材による集成材や合板への利用が可能であるものと示唆された。

表-5 難燃処理材の接着性能

		せん断接着力		木破率
		平均 N/mm <sup>2</sup>	標準偏差 N/mm <sup>2</sup>	%
CY	無処理	4.3	1.60	65
	処理	7.7	1.22	75
MB	無処理	6.5	0.55	100
	処理	6.1	1.21	100

(5) 表面処理材のガス有害性能

マウスの行動停止時間を表-6に示す。無処理赤ラワン材の燃焼による平均行動停止時間が 6.8分に対して、No.1が 14.7分、NO.2が 12.5分であり、燃焼時のガス有害性能をクリアした。

(6) 塗装した難燃処理材からのホルムアルデヒド放出量

無処理スギ材からの放出量は 0.04 mg/Lに対して、塗装した難燃処理材は 0.01 mg/Lであり、ホルムアルデヒドの放出は認められなかった。

表-6 マウスの行動停止時間

	行動停止時間(分)								$\bar{X}$	$\sigma$	Xs
1	15(L)	15(L)	15(L)	14.4	13.1	15(L)	15(L)	15(L)	14.9	0.12	14.7
2	14.0	14.0	14.9	12.0	15(L)	13.7	11.5	14.2	13.7	1.18	12.5

L:生存

(7) 塗膜の性能

汚染A、耐アルカリ、耐酸及び寒熱くり返し試験ともに、表面の割れ、ふくれ、軟化並びに著しい変色等は認められない。さらに台所の油污れを想定し、ガスレンジ上部の換気フードに3ヶ月設置したが、シンナーで除去された。

(8) 吸湿性能と寸法変化

吸湿性能の結果を表-7に示す。難燃処理材の吸湿量は、無処理材 (0.016g/cm<sup>2</sup>) の2倍以上 (0.039g/cm<sup>2</sup>) であるが、表面処理材は無処理材とほぼ同じである。また、幅方向の寸法変化は、無処

理材の1.8mmに対して表面処理材は0.8mmと、2分の1以下であった。

これらの結果から表面処理材は、スギとほぼ同じ吸湿性能を有し、寸法変化は2分の1以下であると考えられる。

さて、実大材の重量の経時変化は、湿潤時の1,067gから乾燥時の1,007gまで60g変化し、幅は113.5mmから112.3mmまで1.2mm変化した。なお、長さは0.3mmであった。従って、施工の際は実部分の隙間を1.5～2mm空けて取り付ける必要がある。

表-7 吸湿性能

材料	吸湿前 (g)	吸湿後 (g)	前-後 (g)	面積 (cm <sup>2</sup> )	吸湿量 (g/cm <sup>2</sup> )
無処理	342.6	369.3	26.7	1650	0.016
難燃処理	459.7	524.1	64.4	1650	0.039
表面処理	507.4	538.0	30.6	1650	0.019

(9) 吸水性能と寸法変化

吸水試験の結果を表-8に示す。表面処理材の吸水量は0.041g/cm<sup>2</sup>であり、無処理材(0.105g/cm<sup>2</sup>)の2分の1以下であった。また、幅方向(辺心材混合・追柁)の寸法変化も0.9mmと、無処理材(2.2mm)の2分の1以下であった。従って、洗面所等の水回りにも使用可能であると考えられる。

表-8 吸水性能

材料	吸水前 (g)	吸水後 (g)	前-後 (g)	面積 (cm <sup>2</sup> )	吸水量 (g/cm <sup>2</sup> )
無処理	39.9	66.8	26.9	255	0.105
表面処理	56.3	66.8	10.5	255	0.041

(10) 樹脂混合による析出防止

耐候操作後の析出の様子を図-1、2に示す。従来のSKO-3000(図-1)に対し、樹脂混合タイプ(1000-S)は析出の少ないことがわかる(図-2)。

次に、塗装した試験体の各サイクルにおける重量変化を図-3に示す。無処理、無塗装のスギは、湿潤時に2g(体積当たり2%)増加するのに対して、難燃処理材は9g(9%)増加した。このように極めて吸湿性が高いため、薬剤が溶脱し、乾燥後に白く析出するものと思われる。これに対して1000-Sは6g(6%)にとどまり、さらに塗装すること(改良タイプ)で0.6g(0.6%)に安定した。

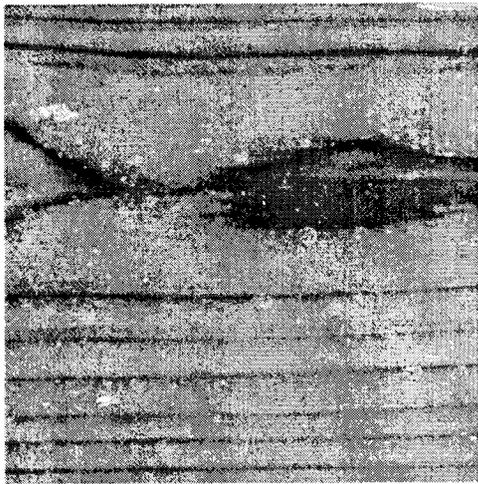


図-1 SKO-3000

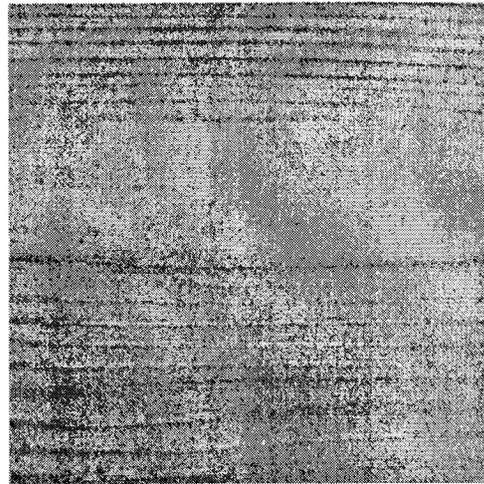


図-2 SKO-1000S

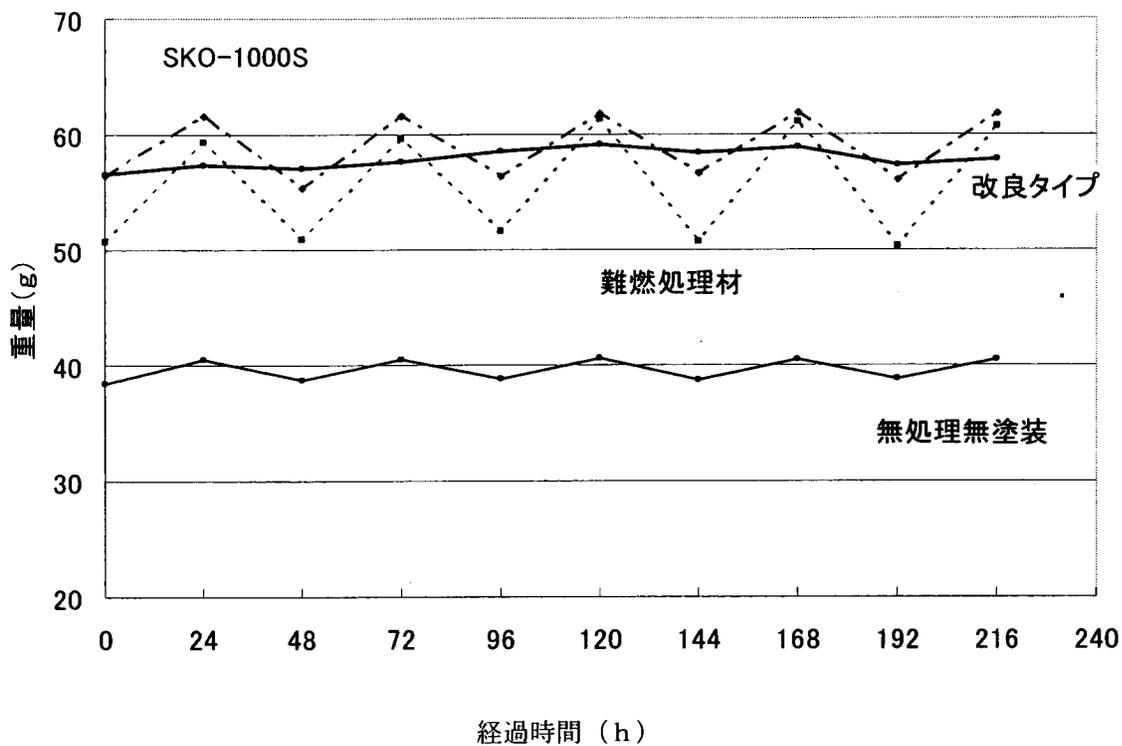


図-3 乾湿繰り返し時の重量変化

(11) 樹脂混合による発熱性能

析出の少ない3種類の発熱性能を表-9に示す。1000-Sは493秒で着火した。10分間の総発熱量は7.64MJ/m<sup>2</sup>であったが、試験終了時の幅が94mm以下に収縮したため準不燃をクリアできなかった。また、9000-25-1は56秒で着火し、炎は590秒で消えた。裏面への亀裂等はなかったものの、総発熱量は9.57MJ/m<sup>2</sup>であり基準の8MJ/m<sup>2</sup>を上回った。難燃処理材の発熱性能と比較して、添加剤が影響を及ぼしているものと思われる。したがって、混合タイプといえども薬剤含浸後速やかに塗装することが必要であると思われる。

一方、シラン系カップリング剤を添加したEC-S-20の加熱時間と発熱速度、総発熱量の関係を

図-4に示す。着火は認められず、総発熱量  $4.77\text{MJ/m}^2$ 、裏面への亀裂等もなく準不燃クリアした。

表-9 混合タイプの発熱性能

試験体	総発熱量 $\text{MJ/m}^2$	裏面への亀裂 等の有無	着火時間 秒	性能	耐候操作サ イクル
1000-S	7.64	収縮	493	難燃	5
9000-25-1	9.57	なし	56	難燃	5
EC-S-20	4.77	なし	0	準不燃	5

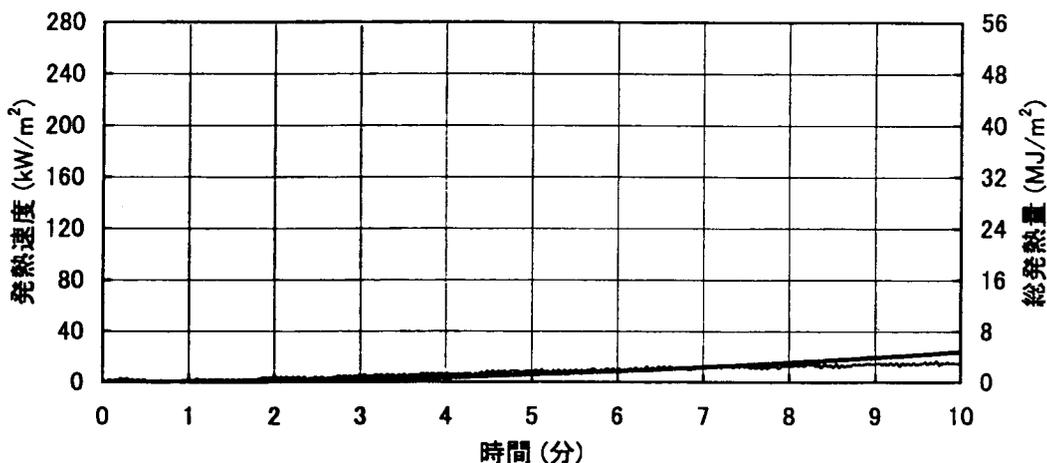


図-4 加熱時間と発熱速度・総発熱量

## 2 準不燃外装材の開発

### (1) 外装材の耐候性

ウェザリングと湿潤繰り返し後の薬剤の析出状況を表-10に示す。参考として加えた内装用表面処理材は、ウェザリング 50 時間、湿潤 24 時間後に薬剤がわずかに析出し、110 時間では全面に析出した。また、内装用シーラーに木材保護塗料を塗布したもの (MFN 2) は 220 時間でわずかに析出が確認された。

一方、エポキシ樹脂系シーラーと保護塗料の組み合わせ (EFN 2) と、保護塗料単独 (FN 3) 及び弾性型塗料 (VF 3) は 550 時間後の析出は認められず、色差はそれぞれ 14.5、12.6、及び 33.3 であった。しかしいずれも 660 時間で塗膜にふくれが発生したことから、この時点がメンテナンスの時期と判断された。

ちなみに、ウェザリング 660 時間は屋外暴露約 3 カ年に相当するものと考えられる<sup>4)</sup>。なお、南に面した垂直の壁面の場合、ほぼ 4 年に相当する<sup>5)</sup>。

さて、自然系の塗料はすべて析出による白化が生じた。また  $120^\circ\text{C}$  の高温乾燥を行った試料は、溶剤系でも塗膜にふくれや白化が生じ、付着性も著しく減少した (表-11)。これは薬剤がわずかながらも熱分解を生じて塗膜に影響したものと思われる。したがって、難燃薬剤含浸後の再乾燥は、 $80^\circ\text{C}$  程度の中温乾燥が適当と考えられる。

一方、木口用シーリング剤は、水性アクリル系が発泡し、変成シリコン系は薬剤が析出したが、

ポリウレタン系は良好であり、現場における鋸断加工後の木口シールに使用可能と考えられる。

表-10 ウェザリングと湿潤繰り返し後の状態

表面処理	ウェザ 湿		色差	ウェザ 湿		ウェザ 湿		ウェザ 湿		ウェザ 湿		ウェザ 湿	色差	ウェザ 660h
	50h	24h		110h	24h	220h	24h	330h	24h	440h	24h			
内装用	○	○	9.7	×	×	×	×	×	×	×	×	×	-	×
MFN2	○	○	5.4	○	○	△	△	△	△	△	△	△	-	×
EFN2	○	○	2.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	14.5	△
FN3	○	○	1.3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	12.6	△
VF3	○	○	5.0	○	○	○	○	○	○	○	○	○	33.3	△

色差: ΔE\*ab ×:析出 △:わずかに析出 ○:析出なし

表-11 ウェザリング660時間後の色差と塗膜の状況

表面処理		色差	塗膜	付着性の分	光沢
		ΔE*ab		類	%
FN3	無	11	良	0	18
	中温	13	一部変色	0	21
	高温	19	一部白化	5	-
FW3	無	12	良	0	30
	中温	18	ふくれ	0	29
	高温	9	白化	5	-
FD3	無	12	良	0	31
	中温	33	一部変色	0	14
	高温	26	白化	5	-
VF3	無	15	良	0	41
	中温	34	一部ふくれ	0	40

(色差、光沢は5カ所の平均値)

(2) 促進耐候性試験後の発熱性能

発熱性能試験の結果を表-12に示す。EFN2は512秒で着火したが、10分間の総発熱量は5.21MJ/m<sup>2</sup>で、試験終了時の試験体には裏面まで貫通する亀裂や著しい収縮もみられず、準不燃をクリアした。一方、FN3は、29秒で着火し、総発熱量は5分間が6.43MJ/m<sup>2</sup>、10分では20.20MJ/m<sup>2</sup>となり、難燃レベルであった。ウェザリングにより薬剤が溶脱したものと推測される。

表-12 促進耐候試験後の発熱性能

試験体	総発熱量 MJ/m <sup>2</sup>	裏面への亀裂 等の有無	着火時間 秒	性能
EFN2	5.21	なし	512	準不燃
FN3	20.20	収縮	29	難燃

準不燃スギ材による試作

スギ準不燃処理材は、通常本実加工して壁面や天井に使用するが、燃えにくいスギ材の可能性を検証するため試作を行った<sup>3)</sup>。

(1) 箱 (図-5)

右上の取手つき小抽斗は、机やタンスの上に邪魔にならずにおける小物入れ。内側は赤いビロード生地貼りのため、預貯金通帳やネックレス、指輪など宝石入れとしても使える。

左の箱は、決済途中の書類等を夜間や休日の火災から守る箱。一般家庭でも金庫のない家では、権利書など大切なものを保管できる。右下の黒い小箱は燃焼後の様子。

(2) タイル (図-6)

「街の施設にぐんまの木」事業の一環として、長井建築設計アトリエの企画で実施した。難燃処理したスギを一辺 100mm のタイルに加工し、ベンガラや硝煙など天然素材の顔料を中心に着色し、所定の塗装を行った。

銀行のロビーに施工したもので、ガラスと無機質の壁面に部分的に使用したことで、強いインパクトを与えつつ、スギの木目が落ち着いた雰囲気を出している。

(3) 囲炉裏 (図-7)

寸法は高さ 350 × 奥行 800 × 幅 1,200mm で、天板に難燃処理スギを使用した。天板は軽量化するためフラッシュパネル構造で、階段の運搬を考慮して本体とはロックダウンとし、取手を付けた。なお、火を使わないときは蓋をして座卓として使用する。

(4) 外壁 (図-8)

家屋の外壁に使用するため、モルダーで実加工後難燃処理し、外装用表面処理を行った。場内の休憩所である「緑陰舎」の外壁に設置し劣化の状態を観察している。

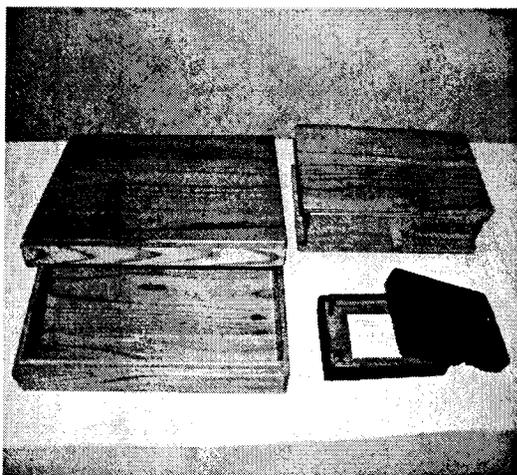


図-5 箱

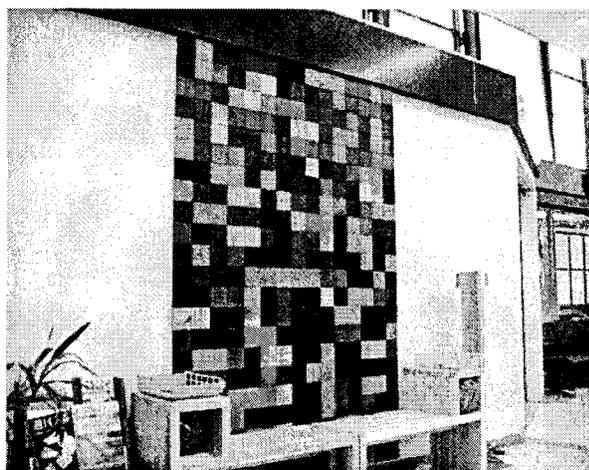


図-6 タイル

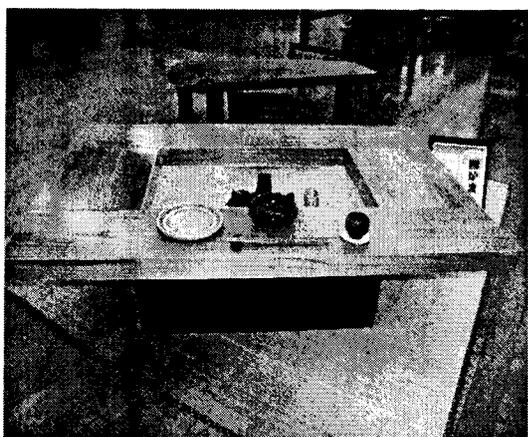


図-7 囲炉裏

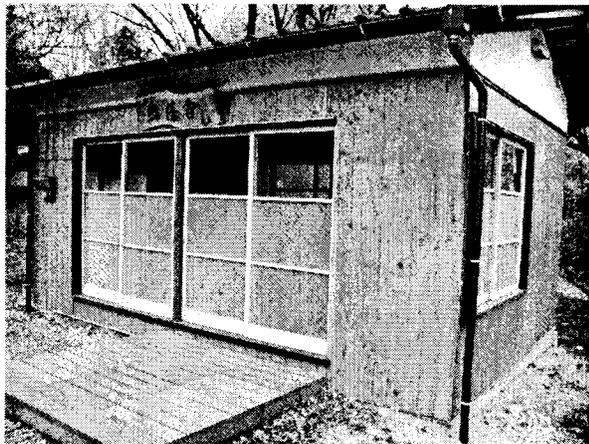


図-8 外壁

#### IV おわりに

準不燃スギ内装材は、平成16年2月、厚さ10～50mmまで国土交通大臣認定を取得し、3月に「難燃処理木材及びその製造方法」で特許出願した。また、商品化に向けて「ヒヨケール」の名称で商標登録を行った。

スギを難燃処理することで、これまで使用が制限されていた場所への利用が拡大されるほか、硬さや曲げ性能など機械的性質が向上するため、家具材料への利用も考えられる。また、ファンガスセラ－（強制腐朽槽）試験の結果、高い防腐性能を有していることから、屋外用資材への利用も考えられる。

さらに、適正な接着剤を選択できたことで、加圧注入によらない準不燃レベルの合板と集成材製造の基礎技術が確立できた。特に合板は、厚さ10mm、5プライの総発熱量が、わずかに2.0MJ/m<sup>2</sup>であった。

さて、外装材としての性能は、促進耐候試験や短期間の屋外暴露試験で評価できるものではない。また、スギ不燃材としての要望に応えるためにも、研究を継続したいと考えている。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、ホルムアルデヒド放出量試験に協力いただいた（株）オーシカ中央研究所の方々に、また、塗膜性能試験に協力いただいた群馬産業技術センターの一ノ瀬秀史氏に深謝します。

#### 参考文献

- 1) 原田寿郎：木質材料の防・耐火性能、耐久性研究会資料 1998年5月
- 2) 菊池伸一：新しい防火木材とその課題、木材工業 11, 520 - 521 2003
- 3) 小黒正次：難燃処理したスギ材の利用、木材工業 5 232-233 2006
- 4) 木製品塗膜の耐久性試験方法に関する研究、日本工芸技術協会 9 1987年5月
- 5) 小黒正次、町田初男：県産スギ材による屋外構造用集成材の開発、群馬県林試研究報告 9 22

2003