

(論 文)

難燃化処理木材の開発 (第2報)

谷内 博規・多田野 修*

The Development of Fire-Retardant-Treated Wood (2)
Hironori TANIUCHI and Osamu TADANO

要 旨

前報⁵⁾では難燃化木材の開発のため、リン酸水素二アンモニウム、ホウ酸、臭化アンモニウムの混合薬剤によりアカマツ材を処理して表面燃焼性試験を行い、結果の検討と実用化のための評価を行った。

今回は供試材としてサワグルミ材を用い難燃化木材の実用化の評価を行った。最初に冷浴、温浴、温冷浴法による薬剤固定量の制御について検討し、薬剤を含浸した単板を積層して難燃材を試作した。性能評価は前回の方法に準拠してJIS A-1321の難燃3級に基づく表面燃焼試験を行った。

実験により次の知見が得られた。

- (1) 温冷浴法は、冷浴、温浴法に比べ、木材の含水率の変化による薬剤固定量の影響が小さかった。
- (2) 温冷浴法で処理濃度、処理時間を操作することにより薬剤固定量の制御が可能であった。
- (3) 難燃処理単板の積層により材内部への炭化の進行が抑制された。
- (4) サワグルミを用い、温冷浴法により処理した2層の難燃処理層を持つ難燃材は薬剤固定量が200kg/m³以上で難燃材料の基準を満たした。

The former report⁵⁾ showed the performance of fire retardant wood, akamastu (*Pinus densiflora* S. et Z.) added (NH₄)₂HPO₄, H₃BO₃ and NH₄Br aqueous solutions.

This time, the wood sample of sawagurumi (*Pterocarya rhoifolia* Sieb. et Zucc.) were used 230mm×136mm and 4.5mm.

The fire retardant chemical were based on phosphate containing aqueous solutions in concentrations of 2.75 to 55.0%.

The wood samples were dipped in cold bath, hot bath and hot-and-cold bath process.

1 to 4 ply laminated woods with 1 to 3 treated sliced veneers were prepared to test in accordance with "Grade 3 Incombustibility" of the flammability test prescribed in JIS A-1321.

The following conclusions are drawn:

- (1) Amount of chemicals in wood was effected by the moisture contents of samples, then the treated process of hot-and-cold bath was smaller in the influence of moisture contents than cold bath and hot bath.
- (2) The hot-and-cold bath process could be control the amount of chemicals in wood by the concentration of chemical and dipping time.
- (3) The laminated fire-retardant treated wood was prevented the progress of carbonization.
- (4) Most of 3ply laminated samples with 2ply treated sliced veneers with 200kg/m³ of the chemicals passed Grade 3 Incombustibility of the flammability test.

キーワード：難燃化木材，サワグルミ材，表面燃焼性試験，商品化，共同研究

目 次

緒 言	2	1. 5. 2 積層接着	4
1 実 験	2	2 結果と考察	4
1. 1 薬液含浸方法による薬剤の含浸量	2	2. 1 薬液含浸方法	4
1. 1. 1 供試材料	2	2. 2 時間による薬剤固定量	4
1. 1. 2 薬剤含浸方法	2	2. 3 薬液濃度による薬剤固定量	4
1. 2 浸漬時間と薬剤濃度による薬剤含浸性	2	2. 4 積層枚数による燃焼性能	5
1. 2. 1 供試材料	2	2. 5 薬剤固定量と性能の関係	5
1. 2. 2 浸漬時間による含浸性	2	2. 5. 1 残炎時間	5
1. 2. 3 薬剤濃度による含浸性	3	2. 5. 2 発煙係数	6
1. 3 燃焼試験	3	2. 5. 3 着火時間	6
1. 4 積層枚数と燃焼性能	3	2. 5. 4 温度時間面積	6
1. 4. 1 供試材料	3	3 結 論	6
1. 4. 2 積層接着	3	謝 辞	6
1. 5 薬剤固定量と燃焼性能	3	引用文献	7
1. 5. 1 供試材料	3		

*：宮古地方振興局林務部

緒 言

木材を難燃化処理し、「難燃材料」として建設省の「個別認定」を受ければ、高層建築物や床面積の大きい特殊建築物など、防火規制を受ける建築物への利用が可能となり用途拡大が期待できる。

前報⁵⁾は、アカマツ板材について、リン酸水素二アンモニウムを主成分とする調合薬液を用い、難燃材料に相当する防火性能を得るために、処理条件、処理因子について検討を行った。

今回は、アカマツに比べ心辺材が明瞭でなく、比較的均一で薬剤浸透性が良好であると思われる軟質の広葉樹であるサワグルミを使用した。サワグルミは本県の低湿地、沢沿いに広く自生する樹種で、材は淡黄白色で軽かつ柔らかいという特徴があり、マッチの軸木、下駄材、経木、白箸に使用されてきた。この高い化粧性を生かし、内装用難燃化木材を開発するため実用化の評価を行った。

難燃処理方法は、簡易な処理方法である温冷浴法³⁾を用いて薬剤を含浸させ、単板積層した難燃材²⁾を試作した。ここでは薬剤固定量の制御と燃焼性能について検討した結果を報告する。

1 実 験

供試材料として岩手県産サワグルミを用いた。難燃薬剤はリン系難燃薬剤である(株)丸菱油化製OK-201を使用した。

1. 1 薬液含浸方法による薬剤の含浸量

スギ材の温冷浴法を用いた難燃材の開発について柴田ら³⁾は、薬剤の浸透性の良い辺材が多くあれば難燃材料の基準を満たすと報告している。また、温冷浴法の薬剤浸透は拡散による⁴⁾といわれることから木材中の含水率により、性能にバラツキが生じることが予想される。

本研究では、薬剤浸透性が良好であると思われるサワグルミを用い、含水率が薬剤含浸性に与える影響を検討するために、全乾、飽水状態のサンプルを用い、温冷浴法、冷浴法、温浴法の比較、評価を行った。

1. 1. 1 供試材料

木材の含水率と薬剤含浸方法による、薬剤の含浸量の影響を検討するため、寸法L×R×T=30×20×20mmの試験体を処理法ごとに7体調整した。

全乾状態下での試験体はオープンで105℃、24時間乾燥した材で、薬剤処理方法を真空加圧含浸、冷浴、温浴、温冷浴とした。

また、飽水状態下の試験体はオープンで乾燥(105℃、

24hrs)した後、真空・加圧注入装置(株式会社ヤスジマ製SBK-500AB型)を用いて、水を減圧加圧注入(15 torr, 2 min後、5 kg/cm², 2 min)した材を用いた。薬剤処理方法を冷浴、温浴、温冷浴とした。

難燃薬剤は濃度55%(重量比)で使用した。

1. 1. 2 薬剤含浸方法

真空加圧含浸として、サワグルミ試料を難燃薬剤に常温で浸漬した後、真空・加圧注入装置を用いて減圧50 torr・2時間、加圧5 kg/cm²・2時間の条件で注入し、乾燥した。

冷浴法は試料を難燃薬剤に浸漬(18±3℃, 24hrs)し、乾燥した。

温浴法は試料を難燃薬剤に浸漬(60℃, 24hrs)し、乾燥した。

温冷浴法はサワグルミ試料を水中で煮沸(100℃, 3 hrs)した後、難燃薬剤に浸漬(18±3℃, 24hrs)し、乾燥した。

いずれの場合も、薬剤含浸後の試験体の乾燥条件は、風乾(18±3℃, 24hrs)後、薬剤の析出を防ぐため、60℃, 80℃, 105℃と温度を上昇させ、それぞれ24時間の条件で行った。

なお、薬剤含浸の指標として薬剤固定量を用い、以下の様に算出した。

$$C = W_0 / V_0 - W_1 / V_1$$

C : 薬剤固定量 (kg/m³)

W₀ : 未処理重量 (kg)

V₀ : 未処理体積 (m³)

W₁ : 処理後重量 (kg)

V₁ : 処理後体積 (m³)

1. 2 浸漬時間と薬剤濃度による薬剤含浸性

1. 2. 1 供試材料

温冷浴法の適正処理条件の指針を得るため、寸法L×R×T=230×136×4.5mmのサワグルミ試験体を144体作成し、乾燥を行わず生材の状態(含水率60~80%)で用いた。

1. 2. 2 浸漬時間による含浸性

浸漬時間による薬剤含浸性比較については、難燃薬剤を濃度55%(重量比)で使用し、温冷浴法は試料を水中で煮沸(100℃, 3 hrs)した後、常温(18±3℃)の難燃薬剤に0.5, 1, 3, 6, 12, 24, 48時間浸漬し、乾燥した。

薬剤濃度と浸漬時間による薬剤含浸性については薬剤固定量により比較、評価を行った。

1. 2. 3 薬剤濃度による含浸性

薬剤濃度による薬剤含浸性比較については、難燃薬剤を水で希釈して濃度2.75, 5.50, 11.00, 27.50, 38.50, 55% (重量比) で使用し、温冷浴法は試料を水中で煮沸(100℃, 3 hrs) した後、常温(18±3℃)の難燃薬剤に24時間浸漬し、乾燥した。

1. 3 燃焼試験

建築材料燃焼性試験装置(株式会社東洋精機製作所製)を用いて、建設省告示第1231号およびJIS A-1321の難燃3級に準拠して行った。なお、表面試験における燃焼性の評価は表1の基準により行った。

なお性能評価として燃焼試験を行い、試験後の試料の最大炭化深さ、炭化重量減少率を次のように定義した。

最大炭化深さ: 燃焼試験後の試料断面の最大炭化深さ(mm)

$$\text{炭化重量減少率} = (W_a - W_b) / W_a \times 100$$

W_a: 燃焼試験前の試料重量(g)

W_b: 燃焼試験後の試料重量(g)

1. 4 積層枚数と燃焼性能

原田ら¹⁾は木材の着火は表面層の熱分解速度に支配されるという報告をしている。また前田ら²⁾は、単板積層による難燃材料を開発について報告している。これらの知見から、難燃処理材を表層とし無処理材を台板とした場合の、積層枚数と燃焼性能について検討を行った。

1. 4. 1 供試材料

難燃処理単板として、寸法L×R×T=230×136×

4.5mmのサワグルミ試験体を作成し、乾燥を行わず生材の状態(含水率60~80%)で用い、難燃薬剤OK-201を水で希釈して濃度38.5% (重量比) として、温冷浴法は2. 1. 2に準拠して行い、乾燥をした。

また、無処理台板として、寸法L×R×T=230×136×15mmのサワグルミ試験体を作成し、含水率5~12%に仕上げる乾燥スケジュールにより乾燥を行った。

1. 4. 2 積層接着

積層する難燃処理単板と無処理台板(1枚)はユリヤ樹脂系接着剤(大鹿振興(株)製大鹿レジンNO.105)を用いて、塗布量220~250g/m², 圧締圧10kg/cm²の条件で接着した。積層する難燃処理単板は1~3層で難燃材を試作した。

さらにモルダーで試験体の厚さが15mmになるように無処理台板を切削し、ほぞ実加工(幅126mm)を施し、2枚を幅はぎして難燃処理層が1, 2, 3層で寸法縦220mm×横220mm×厚15mmの燃焼試験用試験体を各2体調整した。

また、比較として、寸法L×R×T=230×136×15mmのサワグルミ試験体を作成し、温冷浴法で処理し、無積層の難燃材を2体調整し燃焼試験に供した。

1. 5 薬剤固定量と燃焼性能

難燃化処理における薬剤最少固定量を得るために、図1の構造を持つ難燃材を試作して、燃焼試験を行った。

1. 5. 1 供試材料

1. 4. 1に準拠して試験体を作成し、難燃薬剤濃度27.5~55% (重量比) で、温冷浴法を行い浸漬時間を6~24時間として、薬剤固定量60~300kg/m³の難燃処理

表一 1 難燃材料の評価基準

Table 1 The standard of flame-retardant material (JIS A-1321)

評価項目 Standard species	判定基準 The judgment of the results
残炎時間 (AF) After flame time	自己消炎性の指標で基準は30秒以下 No flame remaining for 30 seconds or longer after the end of heating shall be observed.
発煙係数 (CA) Smoke generation coefficient	発煙性の指標で基準は120以下 CA to be obtained by the following formula shall not exceed 120.
着火時間 (TC) Exhaust temperature-rise	着火性の指標で基準は3分以上 The exhaust temperature curve of the test results shall not exceed a standard temperature curve within 3 minutes from the start of the test.
温度時間面積 (Tdθ) Heart generation	発熱量の指標で基準は350以下 The area contained between the exhaust temperature curve and the standard temperature curve in the section where the former exceeds the latter shall not exceed 350.

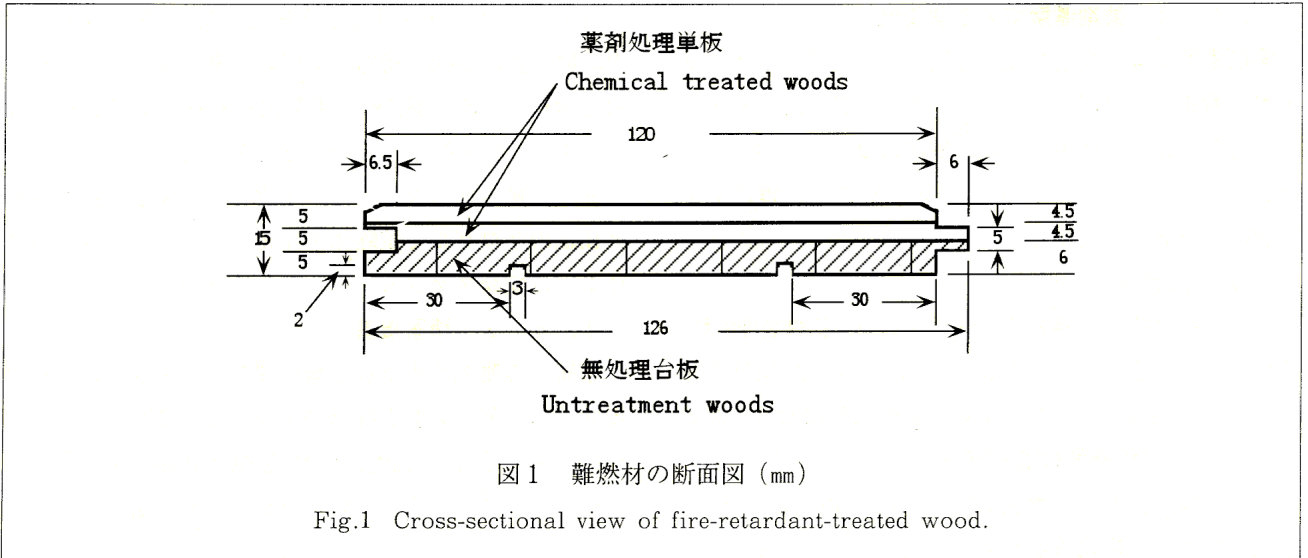


図1 難燃材の断面図 (mm)

Fig.1 Cross-sectional view of fire-retardant-treated wood.

単板82枚と無処理台板41枚を調整した。

1. 5. 2 積層接着

1. 4. 2 に準拠して難燃処理単板 2 枚と無処理台板 1 枚を積層接着し、縦220mm×横220mm×厚15mmの燃焼試験用試験体を41体調整した。

2 結果と考察

2. 1 薬液含浸方法

図2 に処理別の薬剤固定量を示す。真空加圧含浸した試料は薬剤固定量470~480kg/m³となった。

飽水状態の処理では冷浴、温浴、温冷浴すべてが250~420kg/m³、全乾状態での処理では冷浴は35~50kg/m³、温浴は30~52kg/m³、温冷浴は250~380kg/m³の薬剤固定量となった。冷浴、温浴については飽水と全乾状態において薬剤固定量が大きく異なった。

このことから、木材の含水率が薬剤の含浸性に大きく影響していることが推測される。しかし、温冷浴は飽水、全乾状態の試料とも、薬剤固定量がほぼ同じ値を示し、含水率の影響を受けにくいことがわかった。

これは、木材の煮沸により木材中の空気や水分が膨張によって排出されると同時に、次の薬剤の浸漬によって空気や水蒸気が収縮することで、木材内が負圧となり、薬剤が十分吸収される。また、高濃度の薬剤は低濃度側に拡散することもあり、薬剤含浸性が向上したものと考えられる。

このことから、以下、薬剤処理方法を温冷浴として実験を行った。

2. 2 時間による薬剤固定量

図3 に温冷浴法による処理時間と薬剤固定量の関係を示す。処理時間と薬剤固定量において、処理時間が0.5,

1, 3, 6, 12, 24, 48時間と増加するにしたがい、薬剤固定量が約70, 100, 160, 220, 270, 310, 330kg/m³と増加している。

処理時間が長時間(24時間以上)になると、時間による薬剤固定量の増加の割合は減少し、一定の値に近づいていくことがわかった。

2. 3 薬液濃度による薬剤固定量

図4 に温冷浴法による薬液濃度と薬剤固定量の関係を示す。濃度と薬剤固定量の関係において、薬液濃度が、

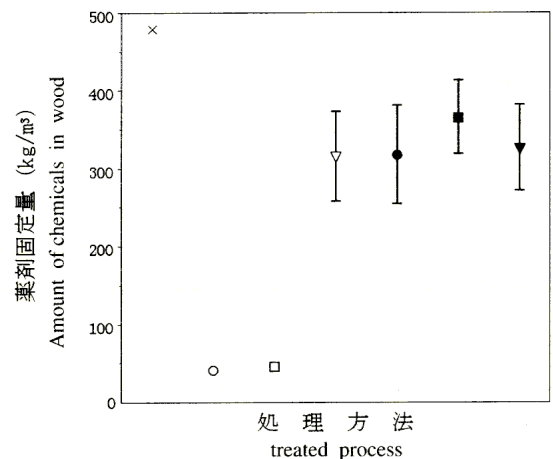


図2 含水率による含浸方法と薬剤固定量の関係

Fig.2 Relationship between the treatment process and amount of chemicals.

Notes : open symbols showed dry condition samples (105°C, 24hrs) and black symbols showed wet condition ; vacuum (10torr, 2hrs) and pressure (9.8kg/cm², 2hrs) in water.

Legend : all samples were used the 55% chemicals in weight.

× : impregnated vacuum (10torr, 30mins) and pressure (9.8kg/cm², 30mins)

○, ● : dipped in the cold bath (20°C, 24hrs)

□, ■ : dipped in the hot bath (60°C, 24hrs)

▽, ▼ : dipped in hot and cold bath (boiled in water for 3hrs and dipped 20°C, 24hrs in chemicals)

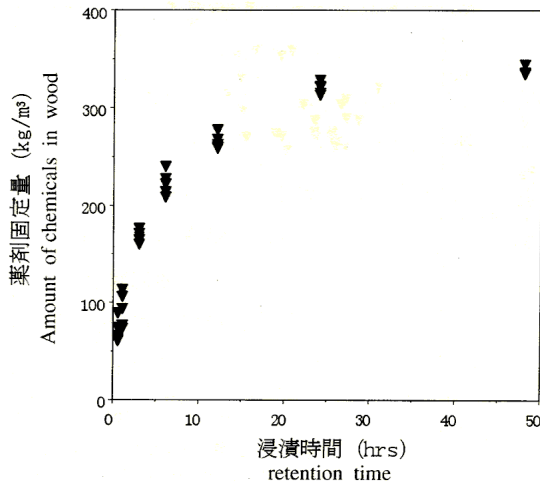


図3 薬剤浸漬時間と薬剤固定量の関係

Fig.3 Relationship between retention time in chemicals and amount of chemicals in wood by hot and cold bath process.

Notes : conc. : 55.0%
boiling time : 3hrs
retention time in chemicals : 0.5~48hrs

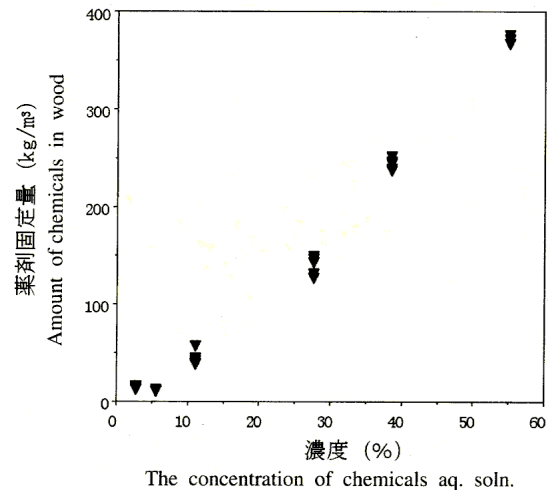


図4 薬剤濃度と薬剤固定量の関係

Fig.4 Relationship between the concentration of chemicals aq. soln. and amount of chemicals in wood by hot and cold bath process.

Notes : conc. : 2.7~55.0%
boiling time : 3hrs
retention time in chemicals : 24hrs

2.75, 5.50, 11.00, 27.50, 38.50, 55.00%と増加するにしたがい、薬剤固定量が10, 15, 50, 140, 250, 400kg/m³と増加し、濃度と薬剤固定量が比例関係であることがわかった。

2. 2, 2. 3の結果から、サワグルミを用いて難燃処理を行う場合、薬剤濃度と処理時間を操作することにより、薬剤固定量を制御できることが明らかとなった。

2. 4 積層枚数による燃焼性能

図5に積層数と炭化重量減少率、最大炭化深さを示す。難燃処理材の積層枚数が0, 1, 2, 3と増加すると最大炭化深さは約10, 8, 6, 6mm, 炭化重量減少率は約

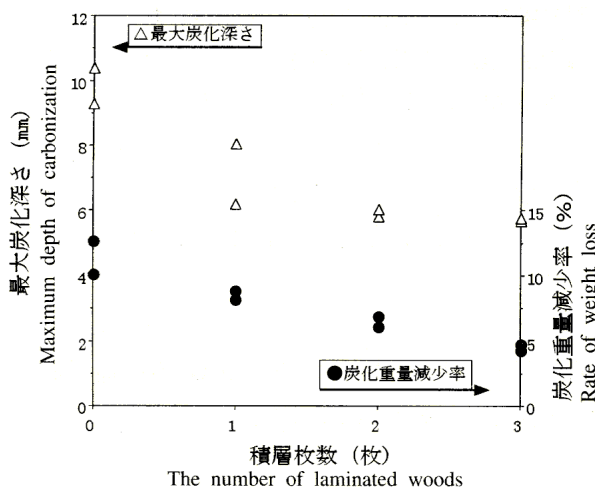


図5 積層枚数と炭化の進行(深さ, 重量減少)の関係

Fig.5 Relationship between the number of laminated fire-retardant woods and the degree of carbonization.

Notes : conc. : 38.5%, Treated method (hot-and-cold bath process) : boiling ; 3hrs, dipping cold bath ; 24hrs.

10, 8, 7, 6%と減少傾向を示した。

この結果から、難燃材を製造する場合、単板積層構造は材内部への炭化の進行を抑制し、防火性能を向上させる有効な手段であると言える。

2. 5 薬剤固定量と性能の関係

接着した表面2層の薬剤固定量が50~300kg/m³に分布する試験材を用い、JIS-1321に示される表面燃焼試験を行った。

2. 5. 1 残炎時間

図6に薬剤固定量と残炎時間(以下AFとする)の関係を示す。AFは薬剤固定量の増加とともに減少傾向を

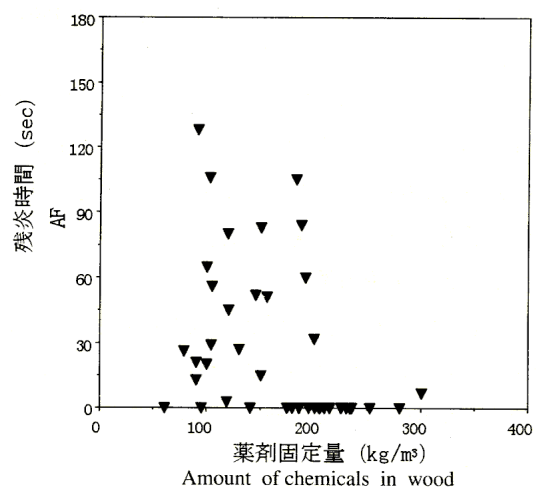


図6 難燃処理層の薬剤固定量と残炎時間の関係

Fig.6 Relationship between amount of chemicals in the treated side and after flame time.

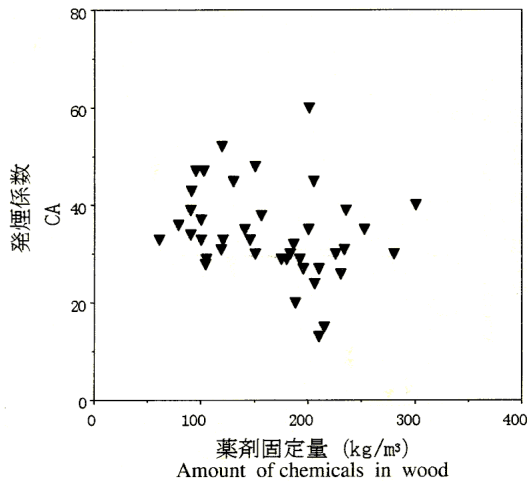


図7 難燃処理層の薬剤固定量と発煙係数の関係
Fig.7 Relationship between amount of chemicals in the treated side and smoke generation coefficient.

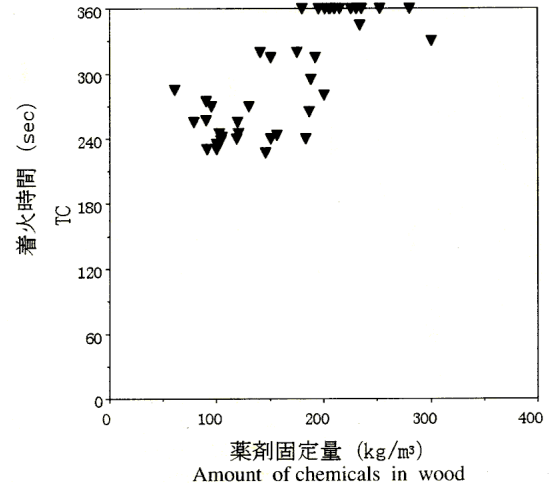


図8 難燃処理層の薬剤固定量と着火時間の関係
Fig.8 Relationship between amount of chemicals in the treated side and exhaust temperature-rise.

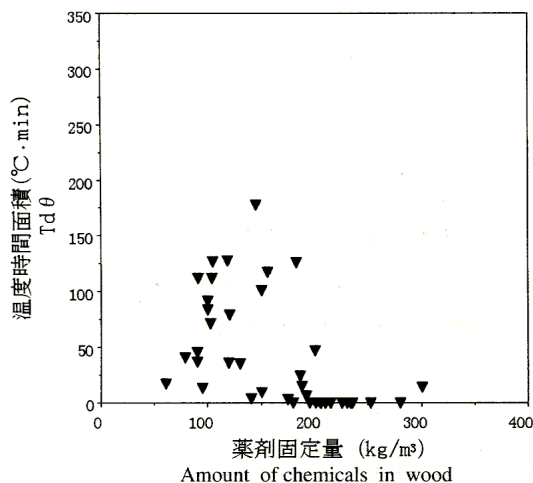


図9 難燃処理層の薬剤固定量と温度時間面積の関係
Fig.9 Relationship between amount of chemicals in the treated side and heat generation.

示した。薬剤固定量が約100~150kg/m³においてAFは0~140の幅で分布し、性能にバラツキが見られる。薬剤固定量が約200kg/m³以上になると、AFは30秒以下に分布し難燃材の基準を満たした。

2. 5. 2 発煙係数

図7に薬剤固定量と発煙係数(以下CAとする)の関係を示す。CAは薬剤固定量に関わらず、15~60の幅に分布し、難燃材の基準値である120以下をすべての試料が満たした。

2. 5. 3 着火時間

図8に薬剤固定量と着火時間(以下TCとする)の関係を示す。今回の実験条件ではほとんどの試料がTC=360を示し、6分間の加熱試験では着火しないことが示された。難燃材の基準値である180秒以上をすべての試

料が満たした。

2. 5. 4 温度時間面積

図9に薬剤固定量と温度時間面積(以下Tdθとする)の関係を示す。薬剤固定量の増加とともに、Tdθが減少傾向にある。薬剤固定量が200kg/m³以上になるとTdθ=0となる。難燃材の基準値はTdθ=350以下であるので、各処理において基準を満たした。

これらの結果から、2層の難燃処理層を持ち、合計の薬剤固定量が200kg/m³以上の場合、「難燃材料」の基準を満たすことができると言える。

3 結 論

今回の実験により次のような知見が得られた。

- (1) 温冷浴法は、冷浴、温浴法に比べ、試料の水分状態による薬剤固定量の影響が小さかった。
- (2) 温冷浴法で処理濃度、処理時間を操作することにより薬剤固定量の制御が可能であった。
- (3) 難燃処理単板の積層により材内部への炭化の進行が抑制された。
- (4) サワグルミを用い、温冷浴法により処理した2層の難燃処理層を持つ難燃材は薬剤固定量が200kg/m³以上で難燃材料の基準を満たした。

4 謝 辞

本校を草するにあたり、取りまとめに適切なお指導をいただいた、森林総合研究所木材化工部難燃化研究室上杉三郎氏、原田寿郎氏に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 原田寿郎, 平田利美 (1994) 放射加熱による木材の炭化 (第1報) 炭化過程における木材の着火. 木材学会誌40: 204-212.
- 2) 前田 豊, 平田利美, 原田寿郎, 大坂 登 (1995) 単板積層による木材の難燃化法. 日本木材学会40周年記念大会要旨集: p433.
- 3) 柴田直明, 斉藤 敏, 斉藤 篤 (1995) 温冷浴法によるスギ材の難燃化处理. 日本木材学会40周年記念大会要旨集: p427.
- 4) 杉原彦一, 越島哲夫他 (1973) 基礎木材工学. p261, フタバ書店.
- 5) 多田野修, 谷内博規 (1997) 難燃化处理木材の開発 (第1報). 岩手県林業技術センター研究報告 No.7: 61-66.