

(論 文)

難燃化処理木材の開発 (第1報)

多田野 修・谷内 博規

The Development of Fire-Retardant-Treated Wood (1)

Osamu TADANO and Hironori TANIUCHI

要 旨

難燃化木材の開発のため、本研究は薬剤処理材の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。供試材としてアカマツ材を、処理薬剤としてリン酸水素二アンモニウム ((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>)、ホウ酸 (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>)、臭化アンモニウム (NH<sub>4</sub>Br) の混合水溶液を用いた。木材に薬液を減圧注入し、その後に加圧注入を行った。難燃処理木材はJIS A-1321-1975の難燃3級に基づく表面燃焼試験を行い、残炎時間 (AF)、発煙係数 (CA)、着火時間 (TC)、温度時間面積 (Tdθ) の評価を行った。その結果を以下に示す。

- (1) 薬剤濃度、注入条件が燃焼性能に大きな影響を与える。
- (2) アカマツ心材は辺材に比べ、難燃薬液を注入する際に高真空、高圧力を要し、心材率は燃焼性能に大きな影響を与える。
- (3) 難燃3級の基準の中で、最も重要な因子は残炎時間で、薬剤固定量による残炎時間の評価は難しく、他の処理条件により大きく影響を受ける。
- (4) アカマツ材において、薬剤固定量が100kg/m<sup>3</sup>あれば、心材率によらず、残炎時間以外の性能は難燃材料の基準を満たす。

For the development of fire retardant wood, a study determining the flammability of chemically treated wood was conducted.

The wood samples (Akamastu: *Pinus densiflora* S. et Z.) used were 22cm×22cm and ranged in thickness from 1cm to 3cm.

The chemicals were (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> and NH<sub>4</sub>Br aqueous solutions in concentrations of 5, 10, 20, and 40 percents.

The wood samples were impregnated with the aqueous solutions under a vacuum of 15 to 760torr (about 20 hPa to 0.1MPa) for 30min, and subsequently immersed in the solution under a pressure of 0 to 10kg/cm<sup>2</sup> (about 0.1MPa to 1.0MPa) for 30min.

The samples were tested in accordance with "Grade 3 Incombustibility" of the flammability test prescribed in JIS A-1321-1975, the following conclusions are drawn:

- (1) Flammability was effected by the terms of impregnation and concentration.
- (2) Heartwood of Akamastu required higher vacuum and pressure of impregnation than sapwood. When Akamastu was treated, flammability was effected by rate of heartwood.
- (3) After flame time was an important factor in order to pass the standard of flame-retardant material. After flame time was effected by the terms of impregnation.
- (4) Most of the treated samples that were impregnated with 100kg/m<sup>3</sup> of the chemicals passed smoke generation coefficient, exhaust temperature-rise and heat generation except After flame time.

キーワード

難燃化木材、アカマツ材、表面燃焼性試験、リン酸水素アンモニウム、残炎

目 次

要 旨 .....	61	2. 2 薬剤固定量と燃焼性能 .....	63
緒 言 .....	62	2. 2. 1 薬剤固定量と残炎時間 .....	64
1 実 験 .....	62	2. 2. 2 薬剤固定量と発煙係数 .....	64
1. 1 供試材 .....	62	2. 2. 3 薬剤固定量と着火時間 .....	64
1. 2 供試薬剤 .....	62	2. 2. 4 薬剤固定量と温度時間面積 .....	64
1. 3 減圧加圧注入 .....	62	2. 3 処理条件と心材率と残炎時間 .....	65
1. 4 燃焼試験 .....	62	2. 3. 1 注入条件と心材率と残炎時間 .....	65
2 結果と考察 .....	62	2. 3. 2 濃度と心材率と残炎時間 .....	65
2. 1 注入条件、薬液濃度と薬剤固定量 .....	62	3 結 論 .....	66
2. 1. 1 注入圧力と薬剤固定量 .....	62	謝 辞 .....	66
2. 1. 2 濃度と薬剤固定量 .....	63	引用文献 .....	66

## 緒 言

建築物の内装(壁、天井)については、防火の観点から、建築基準法および同施行令による制限(内装制限)があり、その建築物の用途・構造・規模によりそれぞれ使用できる材料の性能が定められている。そのために燃える材料である木材は、高層建築物や床面積の大きい特殊建築物(観覧場、公会堂、病院、ホテル、共同住宅、百貨店、飲食店)等では、その内装への使用が大きく制限されている。しかし、木材を難燃化処理し「難燃材料」として性能が担保(建設省の「個別認定」を取得すること)できるならば、これらへの利用が可能となり用途拡大が期待できる。

本研究は、県の木でもあるアカマツ材の高付加価値化による用途開拓の一方策として、上記のような建築物の内装材への利用を目的とし、アカマツ材が持つ本来の色彩、木目、質感等を損なわない、木質難燃材料の開発を最終目的とする。

本実験では、使用する薬液の濃度や注入条件、心・辺材等の因子がアカマツ材の難燃化において、どのような影響を及ぼすかについて検討を行った。

## 1 実 験

木材の難燃化において、平田らはリン酸化合物、ホウ酸、臭化アンモニウムを組み合わせた難燃化処理について実験を行い、薬剤の混合比について述べている<sup>4), 5), 6)</sup>。また吉村らの報告で、リン酸化合物の中ではリン酸水素二アンモニウムの高い難燃効果を示している<sup>9)</sup>ことから、本実験では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水溶液を難燃薬剤として用いた。その配合比は平田、多田野らの報告<sup>2), 3), 7)</sup>に準拠して行った。

### 1. 1 供試材

供試材料として、岩手県産アカマツフリッチより以下のような試験体を作成した。

難燃薬液の注入性の難易を実験する試料(以下試料Aとする)として、寸法L×R×T=30×20×20mmの心材、辺材ブロック試験体をそれぞれ60個調整し、オープンで乾燥(105℃, 48hrs)した。

表面燃焼実験用の試料(以下試料Bとする)として、寸法L×R×T=220×10~30×220mmの心辺材混合の板目板を106枚調整し、含水率11~13%まで人工乾燥を行った。なお心材率は木表、木裏の心材面積率の平均により算出した。

### 1. 2 供試薬剤

難燃化処理薬剤は、配合比(重量比)リン酸水素二アンモニウム:ホウ酸:臭化アンモニウム=36:3:1で、濃度5~40%水溶液で実験に使用した。

### 1. 3 減圧加圧注入

供試材への薬液の注入処理は、真空・加圧注入装置(株式会社ヤスジマ製SBK-500AB型)を用いて、減圧注入処理(15~760torr, 30min)および減圧加圧注入処理(15torr, 30min後0~10kg/cm<sup>2</sup>, 30min)を行った。

なお、薬剤固定量は下記の式で算出した。

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

C : 薬剤固定量

W<sub>0</sub> : 未処理重量

V<sub>0</sub> : 未処理体積

W<sub>1</sub> : 処理後重量

V<sub>1</sub> : 処理後体積

### 1. 4 燃焼試験

難燃材料としての性能の評価は、「準不燃材料及び難燃材料を指定する等の件(昭和51年8月25日建設省告示第1231号)」により定められた表面試験とガス有害性試験で行う。この2つの試験に合格することが「難燃材料」として認められるための条件となっている。

本実験では、燃焼性の評価である表面試験を、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 A1321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の基準により行われる。

## 2 結果と考察

難燃化処理された木材の難燃性能評価には幾つかの項目があるが、これらを比較検討するために、基準として薬剤固定量を用いた。

また、アカマツ心・辺材における処理条件と薬剤固定量の関係について検討を行った。

### 2. 1 注入条件、薬剤濃度と薬剤固定量

試料Aを用いて、心・辺材別の注入性の難易について注入方法と薬液濃度を変化させ薬剤固定量の比較を行った。

#### 2. 1. 1 注入圧力と薬剤固定量

減圧注入処理において、心材は380, 190, 95, 15torrと真空度が増加するに従って、薬剤固定量が90, 95, 100,

表-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) Heat 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.

120kg/m<sup>3</sup>と増加している。同じく辺材は380, 190, 95, 15torrと真空度が増加するに従って、薬剤固定量が140, 200, 225, 250kg/m<sup>3</sup>と増加している (図1)。心材は辺材に比べ、薬剤固定量は半分の注入量であった。

減圧加圧注入処理において、心材は2.5, 5.0, 10kg/cm<sup>2</sup>と加圧注入圧力が増加するに従って、薬剤固定量が200, 230, 240kg/m<sup>3</sup>と増加している。他方、辺材は圧力が増加しても、薬剤固定量が250~260kg/m<sup>3</sup>付近に分布し、緩やかに増加している (図2)。

このことから心材は注入圧力の増加とともに、薬剤固定量が辺材に近づいていくことがわかる。つまり心材に辺材と同量の薬剤を注入するには高真空度および高圧力が必要であり、その要因として、心材部の浸透性、注入性<sup>7), 8)</sup>が挙げられ、従って十分な真空度、圧力で処理されない部分は表層のみが処理され、内部まで薬剤が含

浸されていないと考えられる。

2. 1. 2 濃度と薬剤固定量

心・辺材とも、濃度が5, 10, 20, 40%と増加するに従って、薬剤固定量が20, 55, 110, 250kg/m<sup>3</sup>と増加している (図3)。これは注入圧力が高いため、心材と辺材の固定量の差が出なかったと考えられる。

以上のことから、心材の薬剤固定量の格差を軽減するには高真空度、高圧力による注入処理が有効である。

2. 2 薬剤固定量と燃焼性能

難燃化処理を行い製品を製造する場合、注入性の良好な辺材のみを使用するのは難しいと考えられる。そこで、心・辺材部の混合した板材による難燃材の製造として試料Bを難燃化処理し、薬剤固定量と燃焼性能について検討を行った。

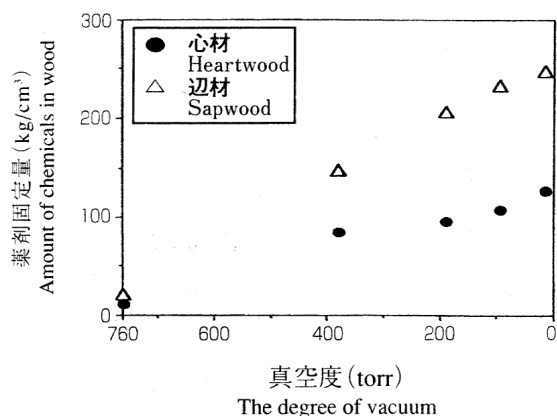


図-1 心材における注入条件と薬剤固定量の関係  
Fig.1 Relationship between the degree of vacuum and amount of chemicals in heartwood and sapwood.

Notes : conc. : 40%, vacuum : 15~760torr, 30min.

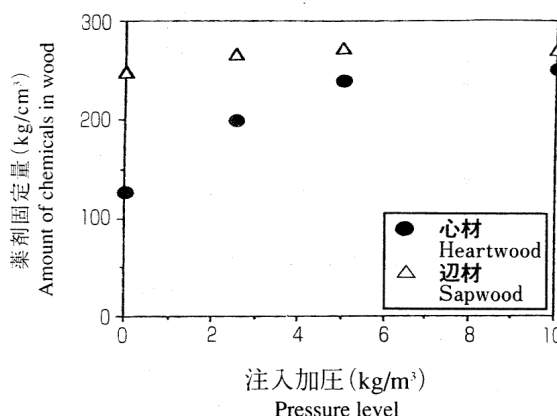


図-2 心材の注入加圧と薬剤固定量の関係  
Fig.2 Relationship between the terms of impregnation and amount of chemicals in heartwood and sapwood.

Notes : conc. : 40%, vacuum : 15torr, 30min. pressure : 0~10kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

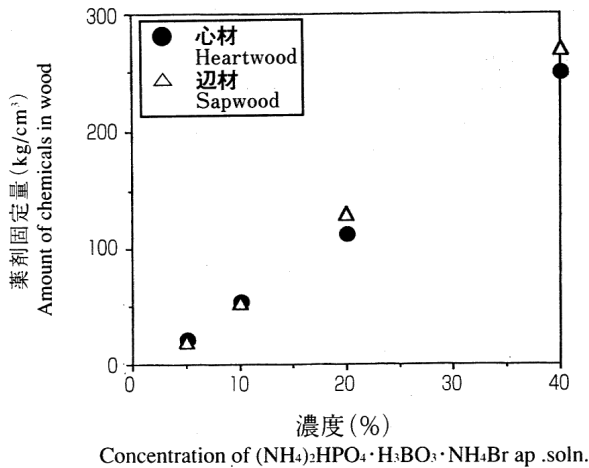


図-3 心辺材の濃度と薬剤固定量の関係  
 Fig.3 Relationship between concentration of  $(NH_4)_2HPO_4 \cdot H_3BO_3 \cdot NH_4Br$  ap.soln. and amount of chemicals in heartwood and sapwood.  
 Notes : conc : 40%, vacuum : 15~760torr, 30min

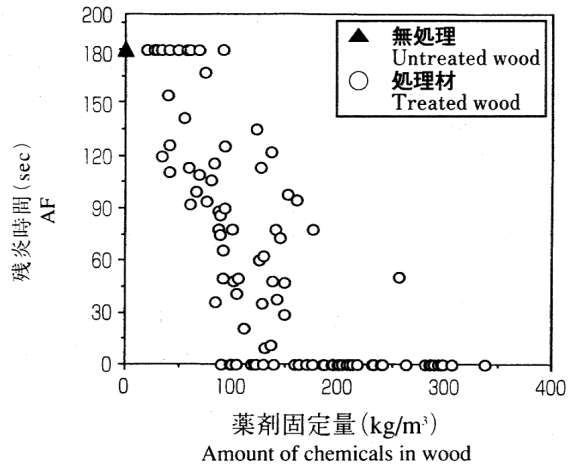


図-4 薬剤固定量と残炎時間の関係  
 Fig.4 Relationship between amount of chemicals in wood and after flame time.  
 Notes : conc : 5~40torr, vacuum : 15~760torr, 30min, pressure : 0~10kg/cm², 30min.

2. 2. 1 薬剤固定量と残炎時間

薬剤固定量の増加とともに、残炎時間(以下AFとする)は減少傾向を示し、薬剤固定量が160~180kg/m³以上になると、AFが0秒となった(図4)。難燃材料としての性能はAF30秒以下であるので、必要な薬剤固定量は約180kg/m³以上と考えられるが処理条件によるバラツキが大きい。

2. 2. 2 薬剤固定量と発煙係数

煙の発生濃度または煙の中の見通し距離の指標となる発煙係数(以下CAとする)と薬剤固定量の関係では、薬剤固定量の増加とともに、CAは減少傾向を示した(図5)。難燃材料として要求される性能はCA120以下であるので、今回行った処理においては全ての試料が性能を満たした。

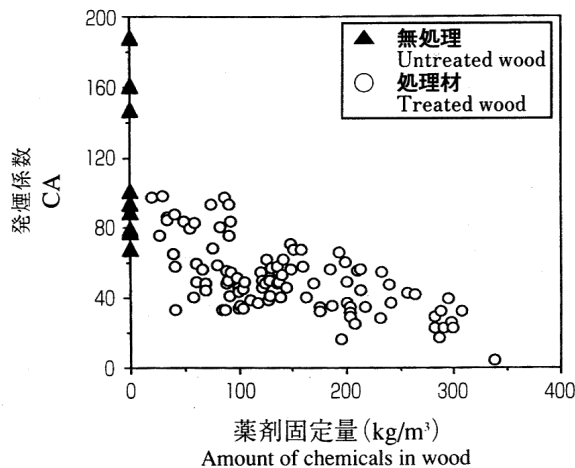


図-5 薬剤固定量と発煙係数の関係  
 Fig.5 Relationship between amount of chemicals in wood and smoke generation coefficient.  
 Notes : conc : 5~40%, vacuum : 15~760torr, 30min, pressure : 0~10kg/cm², 30min.

2. 2. 3 薬剤固定量と着火時間

薬剤固定量の増加とともに、着火時間(以下TCとする)は増加傾向を示し、薬剤固定量が約150kg/m³以上では全試験期間(6分間)で着火しなかった(図6)。難燃材料として要求される性能はTC180秒以上であるので、必要な薬剤固定量は約100kg/m³以上と考えられる。

2. 2. 4 薬剤固定量と温度時間面積

薬剤固定量の増加とともに、発熱量の指標となる温度時間面積(以下Tdθとする)は減少傾向を示し、薬剤固定量が約150kg/m³以上でTdθが0になった(図7)。難燃材料として要求される性能はTdθ350以下であるので、必要な薬剤固定量は90~100kg/m³以上であると考えられる。

これらの結果から、AF以外は薬剤固定量100kg/m³程

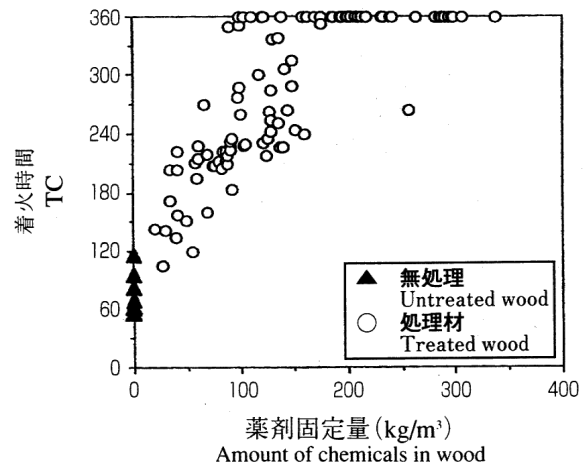


図-6 薬剤固定量と着火時間の関係  
 Fig.6 Relationship between amount of chemicals in wood and exhaust temperature-rise.  
 Notes : conc : 5~40%, vacuum : 15~760torr, 30min, pressure : 0~10kg/cm², 30min.

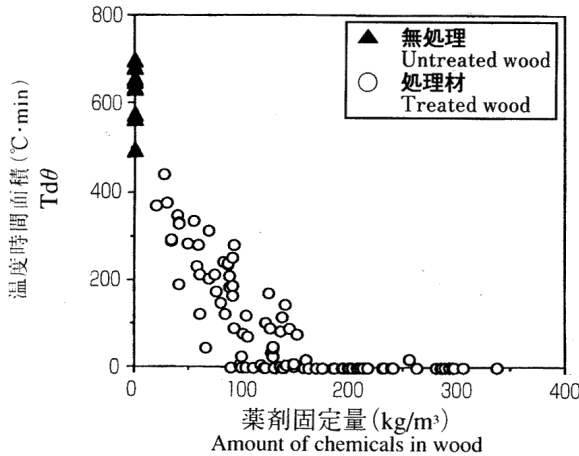


図-7 薬剤固定量と温度時間面積の関係

Fig.7 Relationship between amount of chemicals in wood and heatgeneration.

Notes : conc. : 5~40%, vacuum : 15~760torr, 30min, pressure : 0~10kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

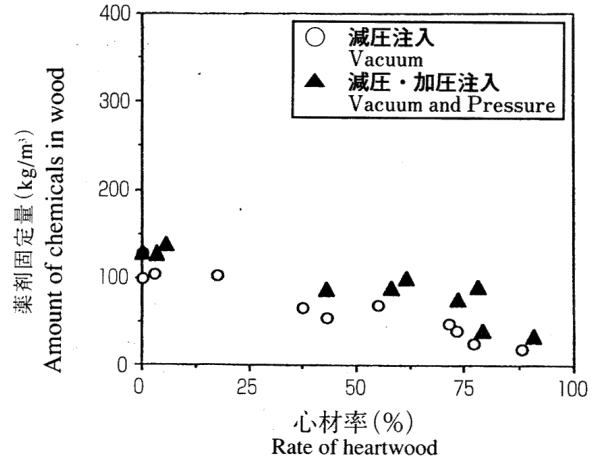


図-8 注入条件別の心材率と薬剤固定量の関係

Fig.8 Relationship between rate of heartwood and amount of chemicals in wood by each term of impregnation.

Notes : conc. : 20%, vacuum : 15torr, 30min, pressure : 5kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

度で必要な性能が得られることがわかる。

図4のAFの合格ラインである30秒以下の薬剤固定量を見ると、100~300kg/m<sup>3</sup>の幅があり基準を満たす薬剤固定量を180kg/m<sup>3</sup>付近と考えても、それより少ない薬剤固定量で多くの試料がAF30秒以下に分布している。

### 2. 3 注入条件と心材率と残炎時間

図1、2において、注入条件により心材材の薬剤固定量に差異が見られる。このことから処理条件(減圧、加圧、濃度)、心材率、薬剤固定量およびAFについて検討を行った。

#### 2. 3. 1 注入条件と心材率と残炎時間

減圧のみの注入処理では、心材率が0, 43, 87%と増加すると薬剤固定量は128.3, 54.3, 19.3kg/m<sup>3</sup>と減少している。加圧注入を行っても、薬剤固定量が10~15kg/m<sup>3</sup>増加するのみであった(図8)。

濃度20%における減圧のみの注入では、心材率が3.0, 17.7, 37.4, 43.0%と増加するとAFは0, 41, 100, 141秒と増加し、心材率50%以上ではAFが180秒を越えてしまう、難燃材料の基準であるAF30秒以内に該当するのは、心材率10%以下の試料のみであった。加圧注入を行った試料では、減圧注入の試料と同様に心材率の増加とともにAFも増加するが、心材率が50%以上の試料でもAFがある程度抑制されている。中には、高い心材率にも関わらず、AFが0の試料も存在していた(図9)。

これらのことから、薬剤固定量の差異が小さくても、注入条件によりAFが大きく異なることがわかる。

#### 2. 3. 2 濃度と心材率と残炎時間

濃度20%処理の試料は心材率が0, 43, 79%と増加するに従い、薬剤固定量は128, 87, 41kg/m<sup>3</sup>と減少傾向にある。濃度40%処理の試料は心材率が0, 60, 83%と増

加するに従い、薬剤固定量は300, 144, 87kg/m<sup>3</sup>となり、濃度20%試料の約2倍の薬剤固定量を示した(図10)。

濃度20%処理の試料は、心材率の増加により、AFも増加しているが、AFは0~130秒以内に分布する。中には、50%以上の高い心材率の試料にも関わらず、AFが0に分布するものもある。濃度40%処理の試料は、濃度20%処理の試料に比べ、AFの分布の幅が若干小さくなり、AFは0~80秒以内にある。AFが0の試料も増加している(図11)。

これらのことから、処理薬剤の濃度が高ければ、薬剤固定量も増加し、AFが短くなり、燃焼性の評価は向上することがわかる。

以上の実験結果から、難燃性能の付与、特にAFについては、表層が均一に処理され、ある程度の薬剤固定量を有することが、有効な処理方法であると言える。

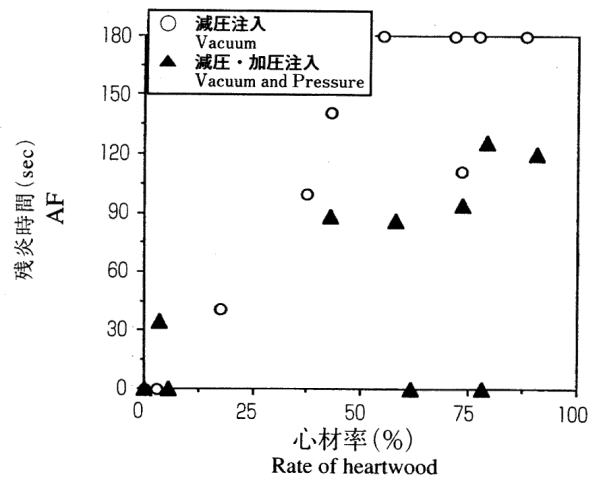


図-9 注入条件別の心材率と残炎時間の関係

Fig.9 Relationship between rate of heartwood and after flame time by each term of impregnation.

Notes : conc. : 20%, vacuum : 15torr, 30min, pressure : 5kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

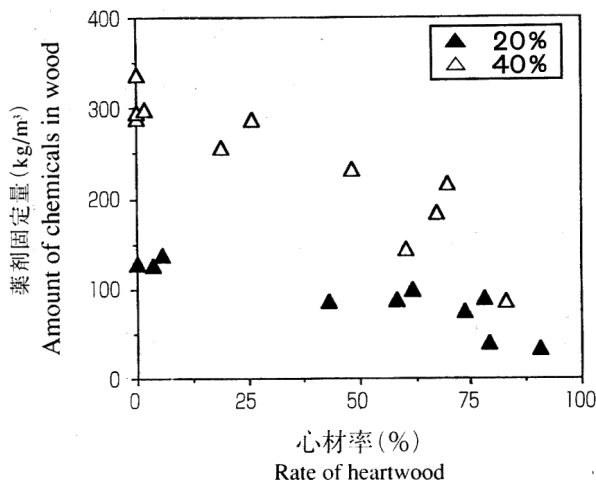


図-10 濃度別による心材率と薬剤固定量の関係

Fig.10 Relationship between rate of heartwood and amount of chemicals in wood by each degree of concentration.

Notes : vacuum : 15torr, 30min, pressure : 5kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

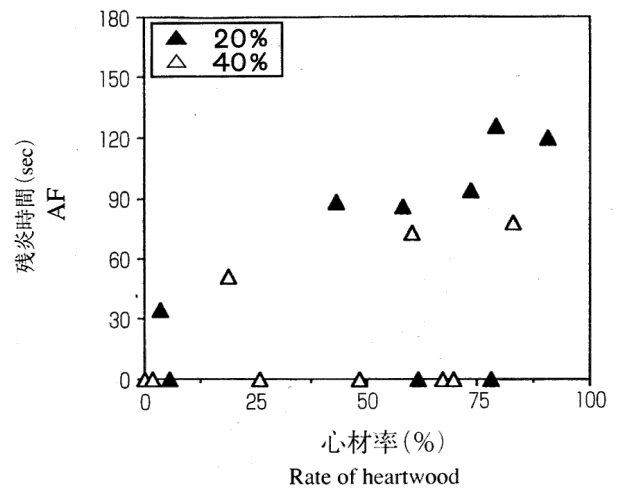


図-11 濃度別による心材率と残炎時間の関係

Fig.11 Relationship between rate of heartwood and after flame time by each degree of concentration.

Notes : vacuum : 15torr, 30min, pressure : 5kg/cm<sup>2</sup>, 30min.

### 3 結 論

- (1) 薬剤濃度、注入条件は燃焼性能に大きな影響を与える。
- (2) アカマツ心材は辺材に比べ、難燃薬液を注入する際に高真空、高圧力を要し、心材率は燃焼性能に大きな影響を与える。
- (3) 難燃3級の基準の中で、最も重要な因子は残炎時間で、薬剤固定量による残炎時間の評価は難しく、他の処理条件により大きく影響を受ける。
- (4) アカマツ材において、薬剤固定量が100kg/m<sup>3</sup>あれば、心材率によらず、残炎時間以外の発煙係数、着火時間、温度時間面積の性能は難燃材料の基準を満たす。

### 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室長上杉三郎氏に厚くお礼申し上げます。

### 引用文献

- 1) 古野 毅・沢辺 攻 (1994) 組織と材質. p.33-139, 青海社,
- 2) 原田寿郎, 平田利美, 大坂 登, 多田野 修 (1993) 発泡性薬剤処理によるアカマツ難燃化. 第43回日本木材学会研究発表要旨集 : p.581.
- 3) 原田寿郎, 平田利美, 大坂 登, 多田野 修 (1993) 発泡性薬剤で処理にされたヒバ難燃化. 日本木材加工技術協会第11回年次大会講演要旨集 : p.51.
- 4) 平田利美, 福井康夫, 上杉三郎, 阿部寛 (1981a) 薬剤処理された木材の燃焼性 (第1報). 木材学会誌27 : 318-330.
- 5) 平田利美, 福井康夫, 上杉三郎, 阿部寛 (1981b) 剤処理された木材の燃焼性 (第2報). 木材学会誌27 : 419-427.
- 6) 平田利美, 福井康夫, 川元スミレ (1988) 薬剤処理による合板の難燃化 (第1報). 木材学会誌34 : 337-345.
- 7) 多田野 修 (1992) 未発表.
- 8) 谷川 充, 古野 毅, 城代 進, 園部宝積 (1994) 難注入性木材の液体浸透 (第2報). 木材学会誌40 : 328-335.
- 9) 吉村貢, 堀井英範 (1980) 酸素指数法による木材の燃焼試験 (第3報). 木材学会誌26 : 476-481.