

難燃処理木質ファイバーの 表面燃焼性

菊地 伸一

駒澤 克己

Surface Flammability of Wood Fiber Treated with Fire Retardants

Shin'ichi KIKUCHI

Katsumi KOMAZAWA

木質ファイバーを吹き込み用断熱材や難燃MDF原料として用いるためには、ファイバーの難燃処理が必要となる。そこで、木質ファイバーを第二リン酸アンモニウム、硫酸アンモニウムまたは八ホウ酸ナトリウムで処理した。難燃ファイバーの防火性能は表面燃焼試験で評価した。さらに、難燃処理に伴う木質ファイバーの吸放湿性の変化について検討した。

その結果、木質ファイバーには第二リン酸アンモニウムが最も優れた防火効果を示した。第二リン酸アンモニウムをファイバーに20%添加するとtdと残炎時間がともに準不燃材料の基準を大きく上回った。発煙性を抑制するには八ホウ酸ナトリウムが優れていた。また、硫酸アンモニウム処理木質ファイバーの吸放湿性はコントロールの2~3倍となり、吸放湿性が期待される部位の断熱材として使用する場合に適していると思われる。

Keywords : セルロースファイバー, 第二リン酸アンモニウム, 硫酸アンモニウム, 八ホウ酸ナトリウム, 吸湿性
cellulose fiber, ammonium diphosphate, ammonium sulphate, sodium octaborate, hygroscopic quantity

To use wood fiber as thermal insulation for a blowing system or fireproof MDF materials, fire-retardant treatment of the fiber is needed. Therefore, wood fiber was treated with ammonium diphosphate, ammonium sulfate or sodium octaborate. The fireproof performance of these fibers was evaluated by the JIS surface flammability test. Furthermore, changes of hygroscopic and moisture-releasing quantities of the wood fibers after fire retardant treatment were examined.

In the surface flammability test, ammonium diphosphate showed the best fire-preventing performance for wood fiber. When 20% ammonium diphosphate was added on fiber, td, which is the index of heat generation, and after flame time was improved and the treated fiber met the standard of quasi-noncombustible materials. Sodium octaborate was excellent in controlling smoke generation property.

The hygroscopic and moisture-releasing quantities of wood fiber treated with ammonium sulfate increased to 2 to 3 times of the control level.

1. はじめに

平成11年3月、住宅の省エネルギー基準が改正され、これまでのものより一層高い断熱性能を求める「次世代省エネルギー基準」が施行された。これによると、関東以南の地域でも現状以上の断熱性が必須となり、高断熱・高気密化が強められている。

断熱材にはマットまたはボード状のもの他に、主に天井裏に吹き込んで使用されるファイバー状のものがあり、既設住宅の断熱改修工事などにも活用されている。吹き込み用断熱材の一つとして古紙を原料とするセルローズファイバーがあり、断熱材の中に占める割合は大きくないものの、無機系断熱材にはない吸放湿性や廃棄処理が容易である特徴を持っている^{1,2)}。このような特徴は木材から得られるファイバーにも共通するもので、それらを生かした木質系断熱材の開発も行われている。

ファイバー状断熱材はJIS A 9523「吹込み用繊維質断熱材」に種類、品質および試験方法が定められており、熱抵抗値、吸湿性のほか、グラスウール、ロックウールにはしゃく熱減量と耐着火性、セルローズファイバーには防火性に関する基準が設けられている。この防火基準を満たすため、セルローズファイバーの難燃処理にはホウ素系難燃剤が使用されている³⁾。しかし、木材用難燃剤としてはホウ素系薬剤よりもリン酸アンモニウム系薬剤のほうが一般的で、かつ効果も高いと考えられているが、それらが木質ファイバーに対して適用されたときの防火性能は検討されていない。

そこで、木質ファイバーに難燃性を付与するため、いくつかの難燃剤について比較・検討した。難燃処理されたファイバーからは準不燃MDF等の製造も可能となる⁴⁾ことから、ファイバーに付与する防火性は難燃2級を基準とした。

また、セルローズファイバーについては、その吸湿性を活かし壁内結露を防止する手法が提案されている⁵⁾。さらに、簡易内装として使用される吸音断熱ボードの素材としては、室内環境を安定化させるため適度な吸放湿性能を持つものが望ましいと考えられる。一方、JIS A 9523ではセルローズファイバーの吸湿性について、熱抵抗値が低下することを防止する観点から15%以下としている。このように、断

熱材の吸湿性は使用される環境によって要求性能が異なる。ここでは、木質ファイバーの吸放湿性を活かすための基礎データを得るため、難燃処理に伴うファイバーの吸放湿性の変化についてもあわせて検討した。

2. 試験方法

2.1 供試ファイバー

用いた木質ファイバーはトドマツチップを加圧型解繊機(PDDR)で解繊したもので、分級すると重量で90%以上のファイバーが目開き1mmのふるいを通過するような比較的細かいものである。

2.2 難燃剤および難燃処理方法

供試難燃剤は試薬1級の第二リン酸アンモニウム、硫酸アンモニウムおよび市販の八ホウ酸ナトリウム4水和物($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)である。

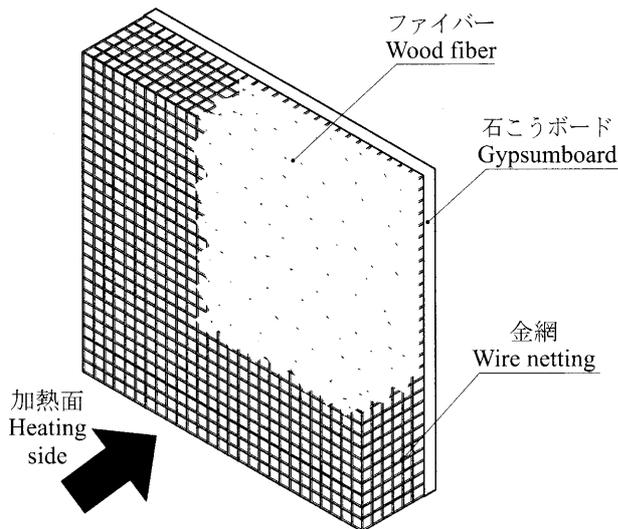
木質ファイバーに対する難燃処理は下記の手順で行い、難燃処理ファイバーを得た。

- 1) 所定濃度の難燃剤水溶液に木質ファイバーを約1時間浸漬する。
- 2) 木質ファイバーに対する難燃剤固形分添加量が10, 20, 30%となるように難燃剤水溶液を圧搾する。
- 3) 圧搾してかたまり状となった難燃処理木質ファイバーは50℃で48~72時間乾燥後、粉碎器でかたまりをほぐす。

2.3 燃焼試験

供試ファイバーの燃焼性は、JIS A 9523「吹込み用繊維質断熱材」の附属書2「防火性試験方法」によって評価した。JIS A 9523に定められている防火性試験方法は、35~45℃の乾燥器中で24時間以上乾燥したファイバー75gを金網製試験箱に均一に充てんし、JIS A 1321の表面燃焼試験方法によって6分間加熱する、というものである。加熱面は金網側となり、非加熱面側は厚さ9mmの石こうボードでふたをしてファイバーの脱落を防止する。ファイバーを充てんした試験箱の概要を第1図に示す。

本研究では、難燃2級の防火性能を付与できる難燃処理条件を検討するため、加熱時間は10分間とした。



第1図 表面燃焼試験用試験箱
Fig. 1. Apparatus for surface flammability test of wood fiber.

また、試験箱へのファイバー充填量は、かさ密度の影響をみるため、JISで定められている75g以上に40~160gとした。

燃焼試験における評価項目および難燃2級の規格値は以下のとおりである。

- 1) 排気温度曲線が標準温度曲線（石綿パーライト板の排気温度に50 を加えた温度）を超える時間（TC）が3分以上。
- 2) 排気温度曲線が標準温度曲線を超えている部分の、排気温度曲線と標準温度曲線とで囲まれた部分の面積（ td ）が100（ \cdot 分）以下。
- 3) 発煙係数（CA）が60以下。
- 4) 加熱終了後の残炎時間が30秒以下。

2.4 吸放湿試験

供試ファイバーの吸放湿性能は、温度一定で湿度を変化させたときの重量変化を測定し、得られる重量差によって評価した。これら吸放湿量の測定には、恒温恒湿試験器と電子天秤とを組み合わせた装置を用いた。

恒温恒湿試験器の温度は25 とし、湿度を57% R、H、で10時間、次いで90% R、H、で10時間、再度57% R、H、で10時間となるように変化させた。木質ファイバーは、恒温恒湿試験器上に設置した電子天秤から試験器内につるしたステンレス製網かごに入れ、その重量を5分間隔で経時的に測定した。すべての試料

はあらかじめ80 で48時間乾燥させ、吸放湿性試験をおこなった。

3. 結果

3.1 無処理ファイバーの表面燃焼性

コントロールとしての無処理木質ファイバーの燃焼試験結果を第2図に示した。ここで、かさ密度0.031はJIS A 9523で規定されている試験体重量75gに相当し、かさ密度0.07は金網製試験箱へ充填可能な限界量である。

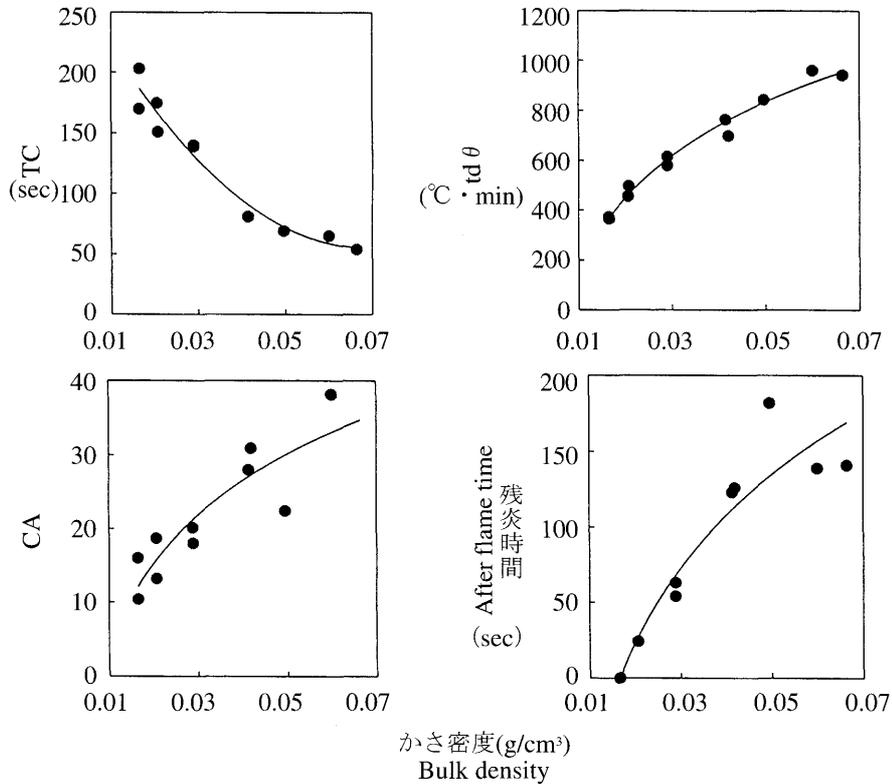
金網製試験箱へのファイバー充填量を多くし、かさ密度が大きくなるほど、 td 、CA、残炎時間は大きくなり、TCは小さくなった。特に発熱性の指標である td は難燃2級の基準値を大きくこえ、激しい発熱を示した。これに対し、CAは今回試験したかさ密度範囲ではすべて40以下で、木材のそれが6分加熱でも40~80に達する⁶⁾のに比べ、小さな値を示した。

残炎時間は表面燃焼試験機の試験体観察窓から炎が確認できなくなる時間と定義されるが、おき状のくん焼燃焼、いわゆる赤熱は止むことがなかった。また、かさ密度が大きい場合、加熱終了後、金網製試験箱内に残存する未燃焼ファイバーを取り出す際に再燃焼が生じた。

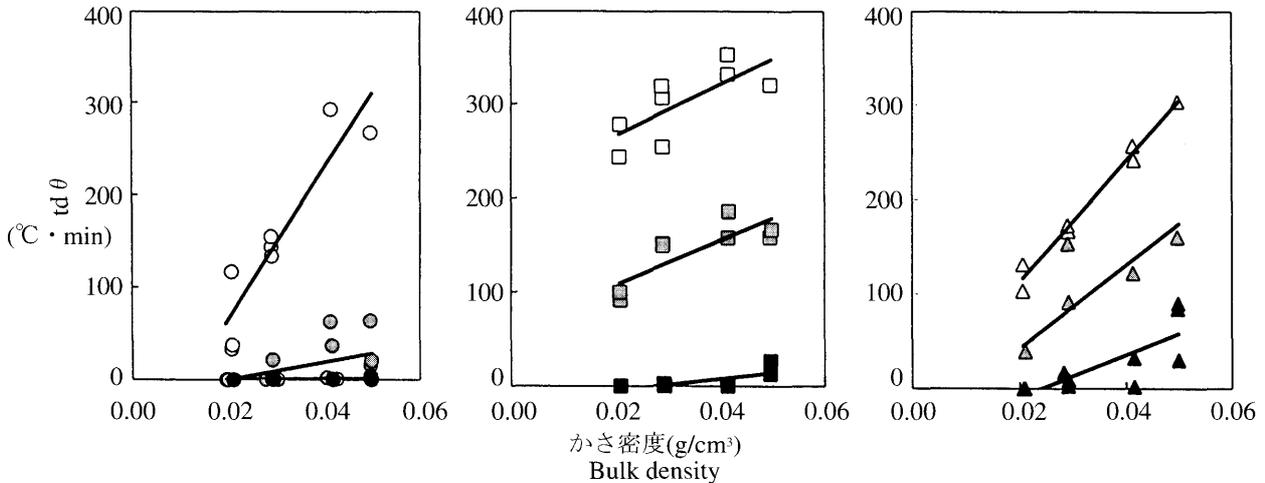
以上のことから、木質ファイバーを難燃化するには、発熱および残じん抑制に効果のある難燃剤が適当と考えられる。

3.2 難燃処理ファイバーの表面燃焼性

難燃処理したファイバーについて、難燃剤添加量別にかさ密度と td との関係を第3図に、残炎時間との関係を第4図に示す。いずれの難燃剤でも、添加量を増加させるにつれ td および残炎時間は小さくなった。一方、図には示さないが、CAは難燃剤添加量が少ないほうが小さかった。しかし、難燃剤の種類またはかさ密度によらずすべて40以下で、コントロールのそれを上回ることはなかった。特に八ハウ酸ナトリウムで処理したファイバーのCAは、添加量10、20%で3以下、添加量30%でも10以下となり顕著な発煙抑制効果を示した。また、TCも難燃剤の種類またはかさ密度によらずすべて200秒を上回り、着火および初期発熱は十分に抑制された。



第2図 無処理ファイバーの表面燃焼性に及ぼすかさ密度の影響
Fig. 2. The effect of bulk density on surface flammability of wood fiber.



第3図 難燃処理ファイバーの難燃剤添加量、かさ密度と $td\theta$ の関係

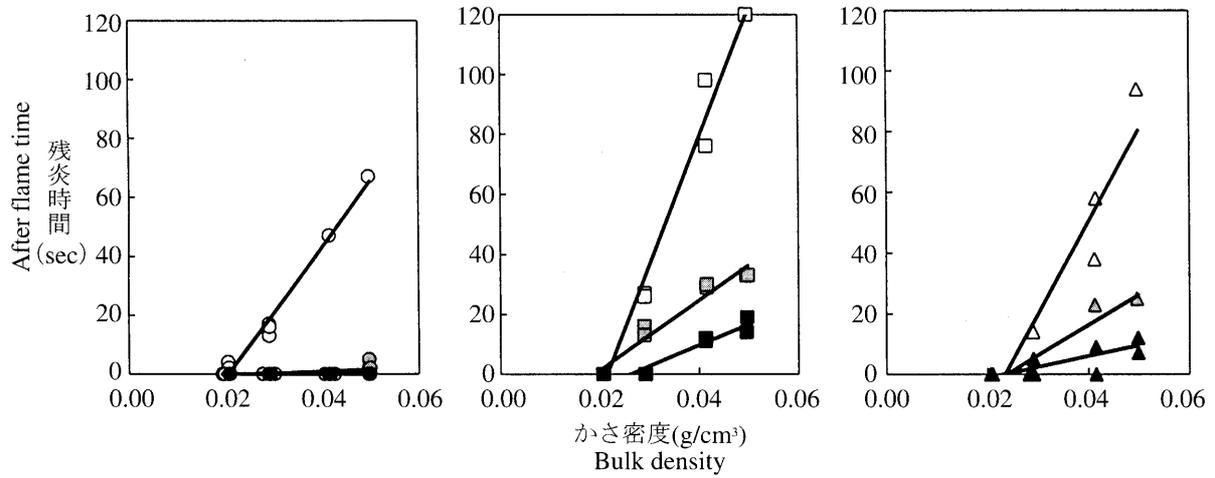
凡例：第二リン酸アンモニウム：○：10%，●：20%，●：30%
 硫酸アンモニウム：□：10%，■：20%，■：30%
 八ホウ酸ナトリウム：△：10%，△：20%，▲：30%

Fig. 3. Relationship between fire retardant content, bulk density and the $td\theta$ of fire retardant treated wood fiber.

Legend : Ammonium diphosphate: ○ : 10%, ● : 20%, ● : 30%
 Ammonium sulphate: □ : 10%, ■ : 20%, ■ : 30%
 Sodium octaborate: △ : 10%, △ : 20%, ▲ : 30%

難燃剤別では、かさ密度の大きさによって一部逆転する部分はあるものの、おおむね第二リン酸アンモニウム>八ホウ酸ナトリウム>硫酸アンモニウムの傾向にあった。いずれの難燃剤でも添加量10%で

はCAは小さいものの $td\theta$ 、残炎時間も大きく、加熱終了後には未燃焼ファイバーの再燃焼が生じた。また、かさ密度が大きくなるほど難燃性は低下するが、第二リン酸アンモニウムを30%添加したファイ



第4図 難燃処理ファイバーの難燃剤添加量, かさ密度と残炎時間の関係

凡例：第3図参照

Fig. 4. Relationship between fire retardant content, bulk density and the after flame time of fire retardant treated wood fiber.

Legend : Symbols are shown in Fig. 3.

第1表 難燃剤添加量と表面燃焼性との関係

Table 1. Relationship between fire retardant treatment and the surface flammability of wood fiber.

難燃剤 Fire retardant	難燃剤添加率 Fire retardant content (%)	TC (sec)	td θ (°C · min)	CA	残炎時間 After flame time (sec)
コントロール Control	0	140	596	19	59
第二リン酸アンモニウム Ammonium diphosphate	10	213	144	8	15
	20	495	6	17	0
	30	600	0	26	0
硫酸アンモニウム Ammonium sulfate	10	202	293	7	27
	20	215	151	6	15
	30	500	1	24	0
八ホウ酸ナトリウム Sodium octaborate	10	211	170	1	7
	20	214	122	1	0
	30	385	10	5	2

注：木質ファイバーのかさ密度は0.031(g/m³)

Note : Bulk density of wood fiber is 0.031(g/m³)

バーはすべての試験範囲でtd θ, 残炎時間ともにほぼ0で, 充てん量を多くしても, 難燃性が低下することはない。

無処理および難燃処理ファイバーの結果から, ファイバーの燃焼性にはかさ密度が大きく影響することが明らかである。JIS A 9523では, セルローズファイバーの難燃性は試験箱への充てん量75gすなわちかさ密度0.031で評価することとされている。これは, かつてのJIS A 9525-1985「吹込み用セルローズ

ファイバー断熱材」で, 吹込み機による施工密度を再現するかさ密度が31±3kg/m³とされていたことによるものである。そこで, かさ密度0.031における難燃剤添加量と難燃性との関係を第1表に示した。

かさ密度が0.031の場合, TC, CAおよび残炎時間は難燃剤添加量10%で難燃2級の基準値を満足した。一方, td θを100以下に抑えるには, 第二リン酸アンモニウムでは20%, 硫酸アンモニウムおよび八ホウ酸ナトリウムでは30%の添加量が必要であった。建

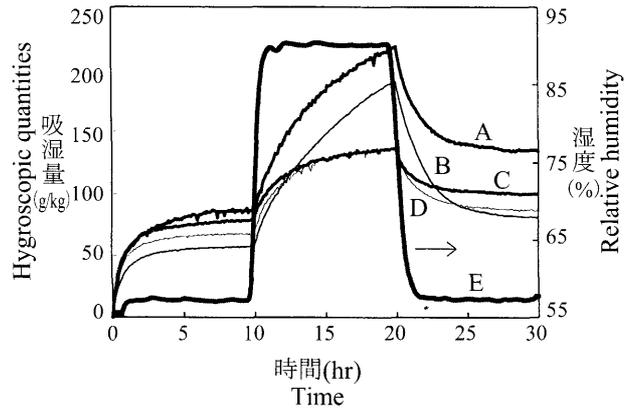
築内装用吹付け材料として準不燃の認定を得ているセルローズファイバーは、ホウ素系薬剤で難燃処理されている。その添加量はファイバー重量に対し30%以上となっている³⁾。認定されている準不燃セルローズファイバーにはアクリル樹脂系接着剤が含まれていることから単純な比較はできないものの、準不燃化に要する難燃剤量はファイバーの種類が異なってもほぼ同程度であることが示唆された。

なお、新聞古紙断熱材の防火性について検討したWegnerら⁷⁾によれば、難燃剤添加量やかさ密度のほかにファイバーの大きさがスモルダリング試験における重量減少率に影響し、荒いほうが難燃性が高いとしている。このため、木質ファイバーの形状を再検討することにより、難燃性をより向上できる可能性が考えられる。

3.3 ファイバーの吸放湿性

無処理および難燃処理ファイバーの湿度変化に伴う吸放湿挙動を、供試ファイバーに含まれる水分量のかたちで第5図に示した。相対湿度の変化に対応してファイバーが吸放湿していることがわかる。また、難燃処理によって吸放湿性が変化し、最大吸湿量は八ホウ酸ナトリウム>硫酸アンモニウム>第二リン酸アンモニウム=コントロールの傾向であった。しかし、八ホウ酸ナトリウムは湿度57%における吸湿量が大きく、湿度変化に伴う吸湿量は最大吸湿量だけ

では評価できない。そこで、湿度57%R.H.の環境におかれたときの吸湿量、湿度が57%R.H.から90%R.H.に変化することに伴う吸湿量および湿度が90%R.H.から57%R.H.に変化することに伴う放湿量を第2表に整理した。これによると、吸湿量、放湿量とも硫酸アンモニウム処理ファイバーが大きく、第二リン酸アンモニウム処理ファイバーは無処理ファイバーの吸放湿量とほぼ同程度であった。一方、八ホウ



第5図 難燃処理による吸湿量の変化

- 凡例：A：八ホウ酸ナトリウム
 B：硫酸アンモニウム
 C：コントロール
 D：第二リン酸アンモニウム
 E：湿度

Fig. 5. Change of hygroscopic quantities according to fire retardant treatment.

- Legend：A：Sodium octaborate
 B：Ammonium sulphate
 C：Control
 D：Ammonium diphosphate
 E：Relative humidity

第2表 湿度変化による吸放湿量

Table 2. The hygroscopic and moisture-releasing quantities of wood fiber according to the change of relative humidity.

難燃剤 Fire retardant	難燃剤添加率 Fire retardant content (%)	吸湿量 Hygroscopic quantities	吸湿量 Hygroscopic quantities	放湿量 Moisture-releasing quantities
		57% R.H. (g/kg)	57% R.H.→90%R.H. (g/kg)	90% R.H.→57%R.H. (g/kg)
コントロール Control	0	79	57	37
第二リン酸アンモニウム Ammonium diphosphate	10 30	69 65	69 66	51 47
硫酸アンモニウム Ammonium sulfate	10 30	58 58	132 150	109 132
八ホウ酸ナトリウム Sodium octaborate	10 30	88 93	130 131	84 74

酸ナトリウム処理ファイバーは、吸湿量と放湿量との差が大きく、保持した水分が放出されにくい傾向を示した。このため、木質ファイバーを吸放湿性が期待される部位の断熱材として使用する場合、硫酸アンモニウムで難燃処理するとその効果を高められると思われる。

4. ま と め

木質ファイバーを吹き込み用断熱材や難燃MDF原料として用いる観点から、それらに必要とされる難燃性を付与するため、いくつかの難燃剤の性能について調べた。あわせて、難燃処理に伴う木質ファイバーの吸放湿性の変化について検討した。その結果、木質ファイバーを難燃化するには第二リン酸アンモニウムが優れた効果を発揮し、ファイバーへの添加量20%で発熱性の指標であるtd₅₀、残炎時間とも準不燃材料の基準を大きく上回った。一方、第二リン酸アンモニウム処理ファイバーの吸放湿量は無処理ファイバーとほぼ同程度であったのに対し、硫酸アンモニウム処理ファイバーのそれは2~3倍を示した。したがって、吸放湿が期待される部位の断熱材として使用する場合の難燃処理に適していると思われる。

文 献

- 1) 川口暗司, 毛利宏昭: 紙パ技協誌, 37(6), 501 - 507 (1983) .
- 2) 鈴木次男: 紙パ技協誌, 48(10), 1277 - 1287 (1994) .
- 3) 建設省住宅局建築指導課監修: 耐火防火構造・材料等便覧vol. 13, 日本建築センター, 1970, p. 9003 - 9006 .
- 4) 大村正敏 ほか5名: 木材性能向上技術研究成果集, 木材性能向上技術研究編, 木材性能向上技術研究組合, 1994, p. 145 - 159 .
- 5) 佐藤路子, 長谷川寿夫: 日本建築学会北海道支部研究報告集, No. 72, 261 - 264 (1999) .
- 6) 菊地伸一: 林産試験場報, 3(3), 9 - 15 (1989) .
- 7) Wegner, T.; Holmes, C.: "American Society for Testing and Materials", 1983, p. 100 - 113 .

- 防火性能科 -
(原稿受理: 99.5.19)