リン系難燃剤で処理された木材の遮熱性

誌名	林産試験場報 / 北海道立林産試験場
ISSN	0913140X
著者名	菊地,伸一 駒澤,克己
発行元	北海道立林産試験場
巻/号	11巻3号
掲載ページ	p. 6-11
発行年月	1997年5月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council Secretariat

－研究－

リン系難燃剤で処理された木材の遮熱性

菊地　伸一　　駒澤　克己

Thermal Insulation Property of Laminated Timbers Treated with Phosphorous Fire Retardant

Shin'ichi KIKUCHI　　Katsumi KOMAZAWA

The internal temperature and thermal insulation have been measured for laminated timbers of spruce and yellow poplar treated with phosphorous fire retardant, and compared with data for untreated wood. The wood thickness was 15 to 30mm, and the fire retardant retention was 160～190kg/m^3. The samples were exposed in a furnace following the JIS A 1304 time-temperature curve. The thermal insulation properties of laminated timbers were evaluated by the times needed for the back side temperature go up to 260℃.

The thermal insulation property was increased with the thickness of the timber. When the thickness of laminated timbers was thin, fire retardant treatment was very effective on the thermal insulation and it was found to increase the mean thermal insulation about 40%.

Keywords: fire retardant, fireproof property, internal temperature, thermal insulation, char layer
難燃剤，耐火性能，内部温度，遮熱性，炭化層

リン系難燃剤で処理されたスプルース，イエローポプラの集成材を耐火加熱し，内部温度および遮熱性能について検討した。供試体の厚さは15～30mm，難燃剤含量は160～190kg/m^{3}とした。供試体はJIS A 1304の温度曲線に沿って加熱し，遮熱性能は裏面温度が260℃に達するまでの時間で評価した。

木材が厚くなるほど遮熱性は向上した。難燃処理による遮熱性向上効果は板の厚さが薄い場合に大きくあらわれ，遮熱性は平均で40%程度大きくなった。

1. はじめに

木材の難燃化は，内装材料をその主要な対象として実施されており，着火性，発熱性，および火炎伝播性などの表面燃焼性の抑制を目的としている。これは，内装材料の着火を防止し発熱速度を低減させることが初期火災の拡大防止に効果的で，安全性を確保することにつながるからである。

一方，フラッシュオーバー以降の盛期火災においては建築物全体での人命安全を確保する上で，排煙制御や避難対策などと共に倒壊防止が主要な防火課題となる。木造建築物の火災時における構造安全性は，主に集成材を利用した大規模建築物について検討されており，加熱による強度変化[1-4]，炭化速度[5-8]などが明らかにされている。また，集成材のような大断面木材以外でも，木製防火ドアや準耐火構造では木材の表面が燃焼した後に生じる炭化層を，裏面への熱伝導を低下させる断熱層として利用している。

木材の遮熱性を向上させるため，発泡性防火塗料の利用が試みられている[9-10]。また，鋼構造では耐

火鋼材と発泡性防火塗料との組み合わせによる耐火性能の向上が実用化されている[11]。

ここでは，木材の炭化による遮熱性を更に向上させるため，水溶性難燃剤による処理を試み，その内部温度等について検討した。

2. 実　　験

2.1 供試体

供試体には，スプルース（*Picea* spp.），イエローポプラ（*Liriodendron tulipifera* L.）の幅10～30mmの小角材を接着集成した板材を用いた。供試体の大きさは，厚さ15，18，20，25，30mm，幅450mm，長さ590mmとし，23℃，50%R.H.で1か月以上養生した。これに前排気4kPa，30分，加圧490kPa，4時間の条件で市販のポリリン酸アンモニウム系難燃剤の25%水溶液を加圧注入処理した。難燃処理した供試体は乾燥後，再度23℃，50%R.H.で1か月以上養生した。供試体の概要を**第1表**に示す。

2.2 耐火加熱試験

供試体は石綿セメントけい酸カルシウム板製の試験体取り付け枠にはめ込み，プロパンガスを燃料とする加熱面が1m×1mの垂直炉を用いて，建設省告示第2999号(昭和44年)に定められている耐火標準温度によって加熱した。加熱温度は鉄製保護管に挿入した線径1mmのk熱電対によって測定，制御した。熱電対は加熱炉内の5か所に設置し，熱接点は供試体表面から30mm離した。耐火試験は，各1回ずつ行った。

加熱側表面温度，供試体内部温度および裏面温度を，素線径0.65mmのガラス被覆k熱電対を用いて測定した。加熱側表面温度および内部温度は，非加熱面側から熱電対を挿入して測定した。熱電対の供試体内部への埋め込み深さは加熱面から5mm間隔とした。裏面温度を測定する熱電対の熱接点は12×100×100mmの杉板で覆い，耐火目地剤で密着させた。それぞれの温度測定位置を**第1図**に示す。

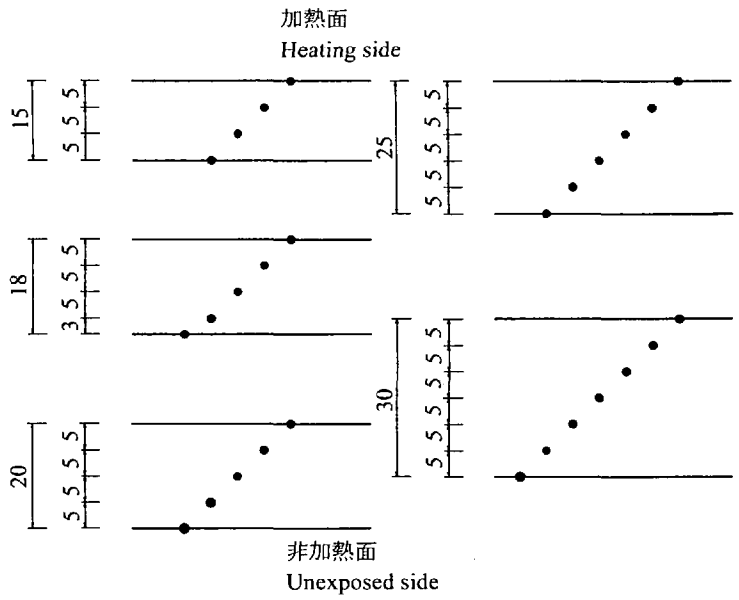
第1表　供試体の概要
Table 1. Specimens used for fire-endurance test.

	厚さ Thickness (mm)	難燃剤含量 Fire retardant content (kg/m³)	比重 Specific gravity
スプルース Spruce	15,18,20,25,30	0	0.41
	〃	167	0.57
イエローポプラ Yellow poplar	15,18,20,25,30	0	0.53
	〃	182	0.73

3. 結果と考察

3.1 燃焼状況および内部温度

無処理供試体は加熱開始後2～3分ごろに着火



第1図　熱電対取り付け位置
Fig. 1. Location of thermocouples in the laminated timber.

し，激しい発炎燃焼が継続した。一方，難燃処理供試体は炉内温度が500℃を超える10分以降に着火し，発炎の程度も無処理供試体に比べると小さなものであった。無処理供試体は亀裂が生じた後，裏面側に着炎したが，難燃処理供試体は裏面温度が300℃を超え，炭化，亀裂が生じても裏面に着炎しなかった。

可燃性の供試体を耐火試験した場合，自己発熱により炉内温度が高くなる傾向にあり，炉内温度を耐火標準曲線に沿わせるためには，燃えやすい供試体ほど燃料供給量を抑制する必要がある。今回の試験でも，難燃処理供試体の燃料消費量は無処理供試体より約10～15%多くなり，炉内温度は同じであるものの無処理供試体の燃焼条件より厳しいものであった。

供試体内部および非加熱側表面における温度変化の1例を**第2図**に示す。加熱時間の経過と共に各部温度は上昇するが，その変化は一様ではなく100℃前後で温度上昇は一時停滞する。この100℃前後で起こる温度上昇の停滞は，供試体に含まれる水分の気化・蒸発の影響と考えられる。また，用いたリン系難燃剤は木材を脱水・炭化させる作用があり，生成する水が供試体の温度上昇抑制に効果的に作用すると期待されている。しかし，温度上昇の程度を見る限り，その効果は明瞭ではなかった。

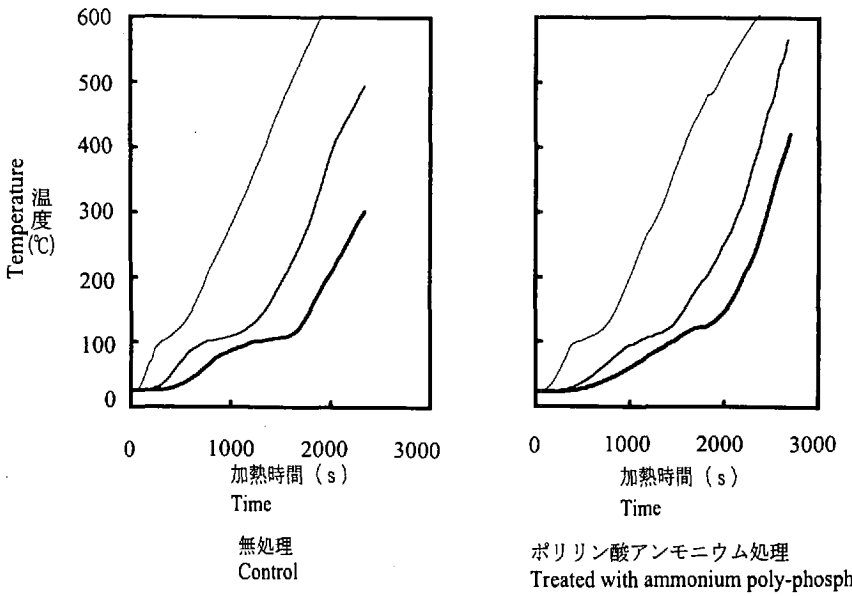
これまで，木材を軸組とする外壁防火構造については，裏面温度260℃が遮熱性の基準として用いられてきた[12-13]。これに対し，DINやBS，ISOでは遮熱性の基準を，以下のとおりとしている[14]。

裏面平均温度（℃）≦140+初期温度

裏面最高温度（℃）≦180+初期温度

また，これらの平均および最高裏面温度は，準耐火構造の遮熱性基準にも取り入れられている[15]。ここでは，板材を防火ドアや防火構造，準耐火構造の構成部材としたときに期待される遮熱時間の評価を目的としているので，木造防火構造の遮熱基準であり，木材の炭化・出火危険温度とされている260℃を遮熱性評価の基準とした。

板厚25，30mmのスプルースおよびイエローポプラについて内部および裏面温度が260℃に達するまでの時間を**第3図**に示す。どの供試体でも難燃処理によって260℃到達時間が長くなり，温度上昇が緩



第2図　加熱を受けた木材の温度変化（スプルース）

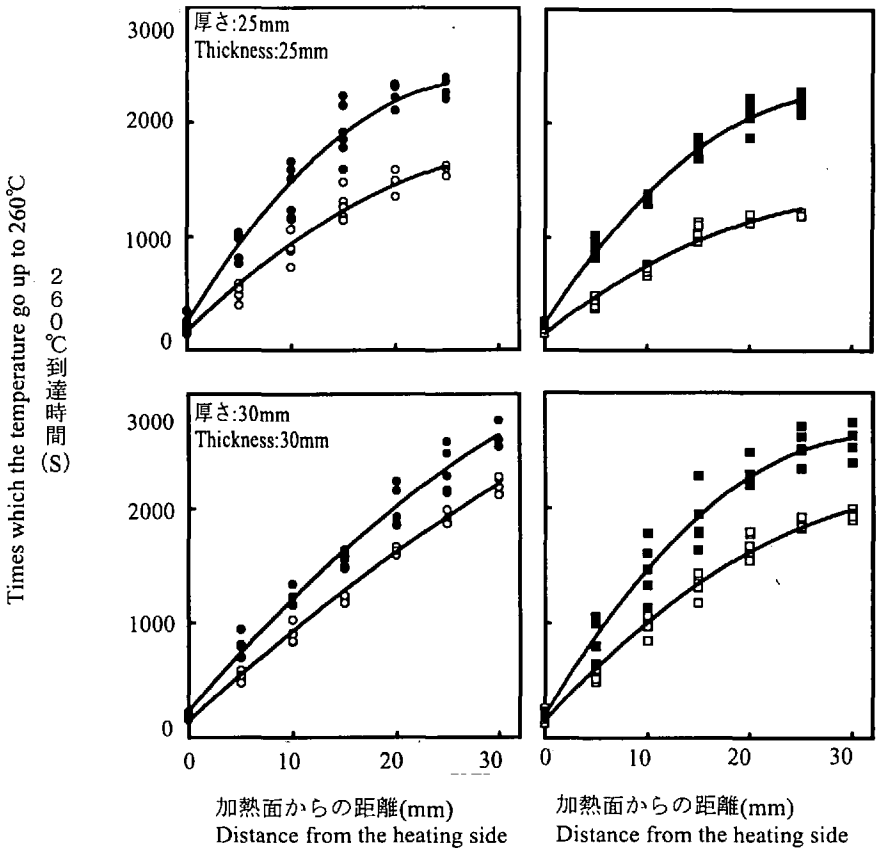
凡例：加熱面からの距離

――――：10㎜，――――：20㎜，――――：30㎜（裏面）

Fig. 2. Relation between heating time and the internal temperature of spruce specimen which treated and not treated with ammomnium poly-phosphate (Spruce).

Legend:Distance from the heating side.

――――：10㎜，――――：20㎜，――――：30㎜（Backside）



第3図　260℃到達時間

凡例：●：スプルース，ポリリン酸アンモニウム処理　；○：スプルース，難燃処理なし
；■：イエローポプラ，ポリリン酸アンモニウム処理　；□：イエローポプラ，難燃処理なし

Fig. 3. Relation between the distance from the heating side and the times which the temperature go up to 260℃

Note：● : Spruce,treated with ammonium poly-phosphate ; ○ : Spruce,control
; ■ : Yellow poplar,treated wite ammonium poly-phosphate ; □ : Yellow poplar,control.

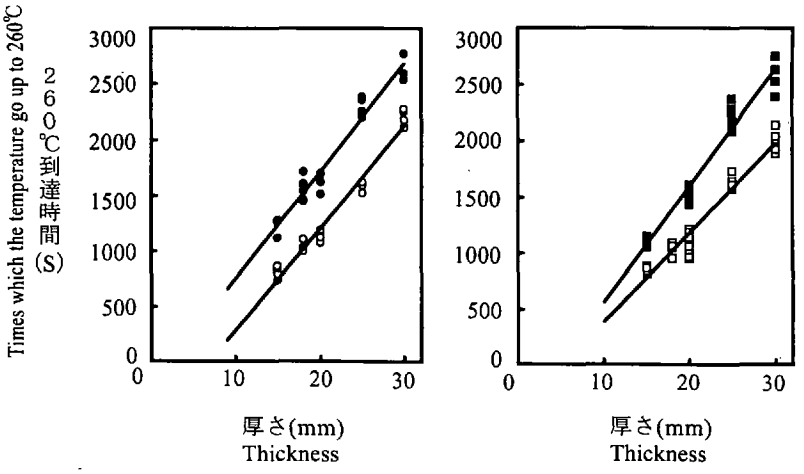
慢になることが示されている。ここに示した以外の厚さを持つ供試体でも，ほぼ同様の傾向が得られた。

厚さ30mmの難燃処理していないイエローポプラ供試体で，加熱側から5mm内部にある温度測定位置が260℃に達してから10mmの位置で260℃を示すまでに要する時間は平均7分16秒，同様に25mmから30mmまでは1分30秒であった。このように，ある温度測定位置が260℃に達してから，そこより5mm内部にある部分が260℃に達するまでに要する時間は裏面側に近づくほど短くなる傾向にあった。これは，耐火加熱温度曲線に沿って加熱される場合，供試体に供給される熱量が時間経過と共に大きくなっていくこと，表面が燃焼するにつれて供試体の重量が減少し熱容量が小さくなっていくこと，などがその理由として考えられる。

3.2　板厚と裏面260℃到達時間の関係

厚さの異なる供試体について，それぞれの裏面温度が260℃を示すまでの時間を**第4図**に示す。厚さが増すにつれ遮熱性が増加した。また，難燃処理の効果も明瞭である。

加熱を受けた木材の炭化速度に対するリン系難燃剤の効果は，変化なし[16]，10～20%小さくなる[17]，2倍以上小さくなる[18]など，異なる値が報告されている。これは加熱条件や加熱を受ける木材の種類が，生成する炭化層の脱落や亀裂発生の有無，供試体内部の熱拡散，脱水炭化によって生成する水分の移動などに大きく影響するためである。また，炭化速度の測定方法にも，残存厚さから計算する場合と内部または裏面温度から推定する場合とがあり，それぞれ異なる結果が導かれる。リンやホウ素系の難燃剤で処理された木材は炭化開始温度が低下するた



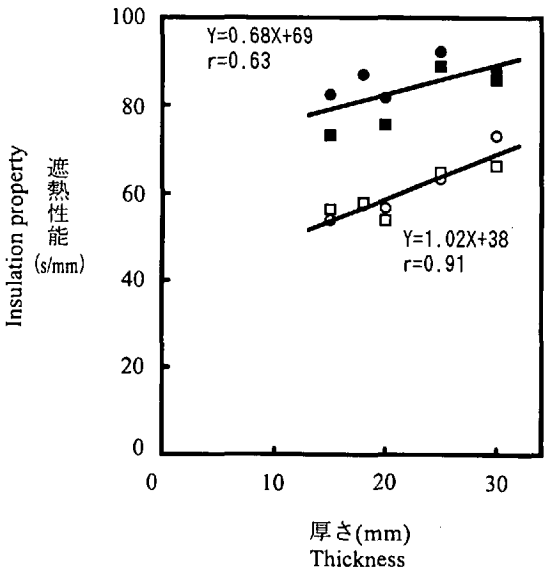
第4図　供試体の厚さと260℃到達時間の関係
凡例：第3図参照

Fig. 4. Relation between the thickness of wood board and the times which the temperature go up to 260℃.
Legend: Symbols are shown in Figure 3.

め[19]，温度基準で炭化速度を計算する方法では難燃処理の効果を過大に評価することになる。したがって，今回の耐火試験から得られる難燃処理の効果は，あくまで"遮熱性能"と考えるべきものである。

単位厚さ当たりの遮熱性能を**第5図**に示す。厚さ15～30mmの板材の場合，1mm当たりの260℃到達時間は無処理木材で平均で約60秒，リン系難燃剤で処理した木材で約85秒となり，おおよそ40%ほど遮熱性能が向上した。また，無処理および難燃処理供試体とも厚さが増すほど遮熱性能が向上した。これは燃焼面に生成される炭化層が断熱材として作用するためである。

スプルースとイエローポプラとで遮熱性能に差が見られなかったので，それらを併せて厚さと遮熱性能との関係を求めた。第5図に回帰式と相関係数を示した。それによると，難燃処理による遮熱性向上効果は厚さが増すほど無処理との差が小さくなり，計算上では厚さが90mmになると同じ遮熱性能を示すことになる。これは，厚さが増すほど無処理木材でも炭化層による遮熱効果があらわれてくるためであると考えられる。したがって，大断面集成材では難燃処理のメリットがさほど得られない[17]。これに対し，防火ドアや防火構造，土塗り壁同等構造のように比較的薄い面材料に遮熱性を期待する場合に難燃処理の意義があらわれてくるものと考えられる。



第5図　難燃処理による遮熱性の変化
注：遮熱性能＝260℃到達時間(s)／供試体の厚さ(mm)
凡例：第3図参照

Fig. 5. Improvement of thermal insulation property by fire-retardent treatment.
Note: Thermal insulation property = Times which the temperature go up to 260℃ (s) / Thickness of specimens (mm)
Legend: Symbols are shown in Figure 3.

4. まとめ

木材の遮熱性を向上させるため，水溶性難燃剤による処理を試み，その内部温度等について検討した。

内部温度は加熱時間の経過と共に上昇するが，100℃前後で一時停滞した。これは，供試体に含ま

れる水分の気化・蒸発の影響と考えられる。

260℃到達時間を遮熱性能の基準とすると，無処理および難燃処理供試体とも厚さが増すほどその性能は直線的に向上した。また，リン系難燃剤で処理するとおおよそ40%ほど遮熱性能が向上した。しかし，難燃処理による遮熱性向上効果は厚さが増すほど無処理との差が小さくなった。したがって，防火ドアや防火構造，土塗り壁同等構造のように比較的薄い面材料に遮熱性を期待する場合に難燃処理の意義があらわれてくるものと考えられる。

文　献

1) 川村二郎：木材学会誌，**35**，447-454 (1989).
2) 上杉三郎：木材学会誌，**38**，985-994 (1992).
3) J.Norén : International Conference on Timber Engineering, Seattle, USA, 19-22, 1988.
4) E.L.Scaffer : *Forest Products Lab.*, FPL450 (1984).
5) E.L.Schaffer : *Forest Products Lab.*, FPL0145 (1966).
6) E.L.Schaffer : *Forest Products Lab.* Rep. No.69 (1967).
7) H.Dorn, K.Egner : *Holz als Roh-und Werkstoff*, 308-320 (1967).
8) 中村賢一　ほか3名：日本建築学会大会学術講演梗概集，787-788 (1987).
9) R.H.White : Proceedings 1988 FRCA fall conference, 1988 October 2-5, p.185-191.
10) R.H.White : *Journal of Testing and Evaluation*, **14**(2), 97-108 (1986).
11) 作本好文　ほか4名：GBRC, No.68, 21-40 (1992).
12) JIS A 1301「建築物の木造部分の防火試験方法」.
13) 建設省総合技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」報告書，No.H1-2，建設省建築研究所，1990，p.29，p.48.
14) 中村賢一：ビルディングレター，No.5，28-43 (1991).
15) 建設省告示第1454号(1993).
16) E.L.Scaffer : *J.Fire Flammability / Fire Retardant Chem.Suppi.*, **1**, 96-109 (1974).
17) 上杉三郎：日本建築学会大会学術講演梗概集，1003-1004 (1990).
18) 増田秀昭，斉藤文春，須藤昌照：日本建築学会大会学術講演梗概集，1395-1396 (1993).
19) 石原茂久：高分子加工，34(11), 559-564 (1985).

－性能部　耐久性能科－

（原稿受理：1997.4.16）