

木質材料の防火（2）

布 村 昭 夫

4. 防火機構

木材の防火機構については素材の燃焼そのものが複雑である上に薬剤の作用が加わるためその全貌を明らかにすることは困難な問題である。

大まかな効果としては物理的と化学的の二つの作用に大別され、これをBrowne⁽¹⁾は次の4つに分けているのでこの区分に従って説明することにする。

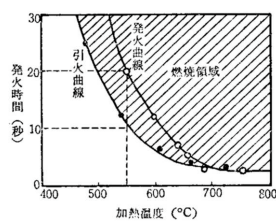
1) 被覆効果

第5図に示す如くにスギ材を口火を近づけながら加熱した場合（引火曲線）と口火なしの場合（発火曲線）とでは600℃以下で両者に相当の差が現れることは多くの機会に確かめられている。古くからの防火剤である珪酸ソーダは加熱時に熔融して木材をガラス状物質で被覆し熱分解ガスと空気の接触を断ち燃焼に必要な酸素の供給を阻止することによって防火効果を生ずるとされている。硼酸、硼砂の場合もこの効果といわれているが実際加熱時にどれだけ被覆効果を持ち続け

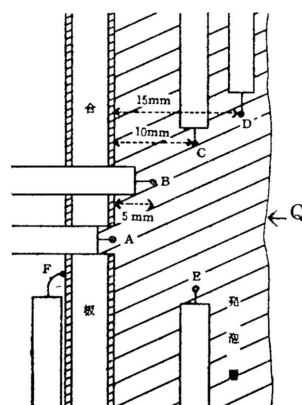
得るかは疑問である。最近熱処理の極薄単板を表面に貼りこのものが比較的不完全な燃焼をし炭化被覆層を作る事を意図した例がある。出来上がった合板の表面性を考えた方法であるが、仮に短時間でも燃焼性の着炎があることに問題がある。この被覆効果を得る方法としてはアスベスト紙、ガラス繊維、金属板等を表面に接着する場合が最も多い。加熱によって発泡炭化層を生じ基材を被覆する発泡防火塗料塗布処理もあるが、これについては寧ろ次に述べる断熱効果が大きい。

2) 断熱効果

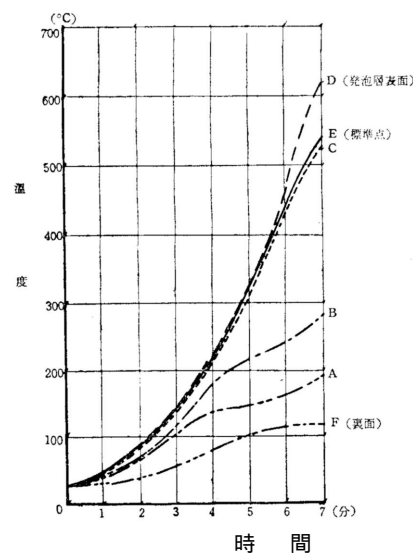
船舶用塗料として開発された難燃性塗料の中に加熱されると発泡するものがある。このものは発泡層内の空気が断熱効果をもつので、緻密で均一な発泡層を作れば被覆効果と相俟って優れた防火効果を示す。我々が先に行った結果⁽²⁾では通常の防火塗料はかなり厚く塗っても加熱中に亀裂が生じ効果は低かったが発泡性のものは充分な効果を示した。このものは通常尿素、チオ尿素、ジシアンジアミド等とホルマリンを縮合さ



第5図 加熱温度と発火時間



第6図 熱電対測温点配置



第7図 各点における温度変化

せた樹脂に燐安を加え防炎性を上げ且つ均一の炭化発泡をさせるためにカラメル剤として糖又は蛋白を加えたものである。この配合については古くは桜井¹³⁾氏等の検討がある。

発泡層がどの程度の断熱効果を示すかについて行った試験結果は第6, 7図に示した如く、発泡し終るまでの200 附近まではA, E点に大差はない(火炎に最も近いD点は当然高い)が、その後明らかに差を示し加熱終了時には400 の開きを生ずる。この時、下地に使用した合板は6m/m厚のものであるがA~F, A~D間の差の大小から発泡層が木材より著しく断熱効果が大きいことが知られる。

実際(1)式を使って合板の熱伝導率 K_s を0.1とし発泡層の熱伝導率 K を求めると約1/3の0.03となり、この値は一般市販のスチロポール、エポキシ発泡体等断熱材料の熱伝導率と略々一致する値である。次に熱伝導に関するもう一つのGrayの(2)式を用いて Q なる加熱を受けたときの合板面が受ける熱量 q を考えるとこの値は発泡層の厚みに反比例し、熱伝導率 K に比例することから通常の塗料と比べて相当小さい値しか合板面に伝えないと考えうる。

$$K = K_s \cdot \frac{\ell}{\ell_s} \cdot \frac{\theta_1 - \theta_2}{\theta_0 - \theta_1} \dots \dots (1)$$

$$q = K \cdot \frac{\theta_0 - \theta_1}{A \ell} \cdot A t \dots \dots (2)$$

q : 発泡層を透過する全熱量

K : 発泡層の熱伝導率

K_s : 合板の "

ℓ : 発泡層の厚み

ℓ_s : 合板の厚み θ_0 : 発泡層表面の温変 (D点)

A : 加熱面積 θ_1 : 合板表面の温度 (A点)

t : 加熱時間 θ_2 : 合板裏面の温度 (F点)

発泡塗料はこの断熱効果で下地材への熱を伝えないうほか、前記の火焰及び空気が材料面と接触することをさえぎる被覆効果も同時に持つ。このため、特に穴あき吸音板、ソフトボードの如く熱気流が材料の内部まで入り込む様な材料の場合被覆効果としての作用が大きくプラスになると思われる。

以上の二者は物理的作用をもったものであるが、材料の表面性特に空目等を失うことが大きな欠点である。(発泡塗料も殆んどが着色塗料である)

3) ガス効果

基材に処理された薬剤が熱分解によって炭酸ガス、アンモニア、水蒸気等の不燃性ガスを発生し、木材質の熱分解で生ずる可燃性ガスを希釈する為に処理材を燃えにくくする。従って炭酸塩、アンモニウム塩及び結晶水を含むものがこの効果をもつがこれ等は他に薬剤の分解時の水和熱と更に生成したアンモニア、水等が気化する時の気化潜熱を周りから奪う吸熱効果も随伴する。何れの場合も木材質の熱分解温度と薬剤の分解温度が併行するか若干先行するものが理想的であるが、相当量の薬剤が木材質に含まれていなければ出来上がった混合ガスの燃焼性を抑制出来ないと思像される。ガス組成と燃焼温度の関係については極く一般的なものを以外余り報告は見当たらない。水の潜熱による効果は三浦¹⁴⁾氏の測定によれば絶乾こなら材の発熱量4,500kcal/kgに比し、13%の含水材では4,000 kcal/kgの発熱量しかもたないことで示される様に含塩材料の平衡含水率が高くなることは防炎効果としては望ましいが、一方はじめに述べた接着、寸度安定性等種々のマイナス効果を生む原因となる。

硼砂の場合その1分子は10分子の結晶水をもっている。その水和熱の値は34kcal/molであるのでこれより水和温度での木材の発熱量170kcal/kgを相殺するには1:1の薬剤量を必要とすることが計算されるが実際上はその10分の1の約10% (重量比) 木材中に含浸されれば相当の防炎効果を示すことからこの水和熱及び気化潜熱の値は余り大きく期待出来ず別のファクターを考えねばならないともいわれているが実験例が少いので更に検討されなければならない問題と考えられる。

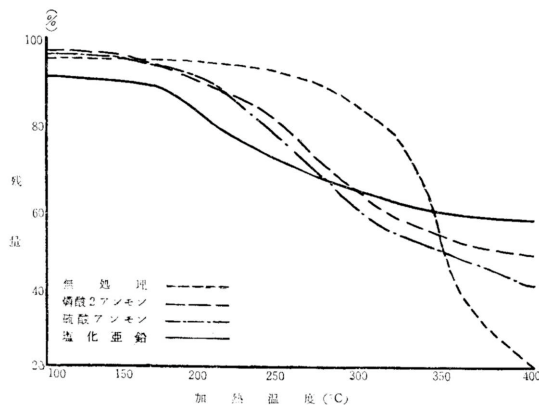
広い意味でのガス効果としては次に述べる化学効果とも云い得るものであるが、比較的最近ハロゲン化物がこの効果を示すと考えられている。ハロゲン化物の熱分解で生成するハロゲン原子が木材の熱分解中間物であるアルデヒド基の脱水素反応触媒とし働きカルボニルを生成し、一方これによって生成したハロゲン化

水素が同時に生成した水酸基と反応し水分子を生成する。この様にして木材の熱分解で生域する燃焼しやすいタール類及び可燃性ガス中に含まれるアルデヒド基水酸基等のフリーラジカルとハロゲン化物が反応し、これらを熱分解しにくい安定な物質にして終う触媒の役目をハロゲン化物はもっているといわれている。この触媒作用は一般の化学反応性と同様にF, Cl, Br, の順に大きいといわれるが、この防火効果と触媒作用との関係を示す明確な実験的立証はなされていない。

不燃性ガスによる希釈の場合及び分解生成物の熱安定化による熱分解連鎖反応の阻止、両者何れにしてもこのガス効果は木材の熱分解反応と平行してその効果が持続することが必要であり、この点からも厚い材料程内部への熱伝導の遅れから薬剤効果の持続性が期待出来るので有利といえよう。

4) 化学効果

木材質に防火剤を加えてその熱分解方式を変えることにより、燃焼しにくくすることがこの効果の目的である。硫酸塩、リン酸塩、スルファミン酸塩の他ハロゲン化アンモン類はこの性質を示す。すなわち、素材を加熱すると100 附近で徐々に水分を失い250 附近から繊維素及びリグニン質が活発に熱分解し、可燃性のタール、可燃性のガスを発し260 ~ 290 で引火、350 ~ 400 で着火し燃焼する。一方、前記塩類を含浸させた木材の場合は第8図¹⁵⁾の如く初期の熱分解を早め200 附近から活発に分解が始まる。



第8図 塩類含浸材の加熱重量変化

この様に塩類を含浸させた場合初期の熱分解は促進されるが250 を過ぎてからの熱分解が極めて緩慢となる。

このことは塩類が加熱中に分解して酸となり繊維素及びリグニンの脱水炭化作用を促進するため一時熱分解は促進されるが素材の熱分解と異り分解中間物である可燃性タール、ガスの生成が少く炎を上げて燃え広がらない炭化物と水を多く生成する様になる。このため更に高温に加熱された場合の熱分解が緩慢となつて、結果的に熱抵抗性を示すことになる。この機構についてはセルロースを用いて研究¹⁶⁾がなされているがレボグルコサンを経るかどうかということについての確証はない様に思われる。また電子論的に所謂ルイス酸、ルイス塩基としての説明¹⁷⁾もあるが限られており、普遍的に説明づけるには必ずしも充分ではない。

一方、燐酸塩、硫酸塩、スルファミン酸塩類は分子内に=O, -OH, -NH₂ の基を持つためにセルロース類の水酸基と水素結合をし、これによってセルロースの分解を抑制する(不揮発化する)という説¹⁸⁾もあるが、水素結合エネルギー 2~8kcal/mol程度では400~500 における内部エネルギー増加に抵抗出来得るかどうかの疑問もあり現在判然としていない。また、チタン化合物はキレート結合を生ずることによって熱抵抗性を示す¹⁹⁾といわれている。

5) 防烟効果

これまでの4つの効果は、一般的な発炎燃焼についての所謂防火効果であるが、焼跡の炭化物が燻るときのように炎を発生しない無炎燃焼をglowingと呼んでおり、これも防止する必要がある。インシュレーションボードの加熱試験で屢々経験することであるが、火が消えた様に見えていて所謂after glowing(残烟)のために長時間で燃え切つて終うことが多い。従つて、前記の化学効果で述べた炭化物の生成を促進させ、急激な燃焼を阻止した場合もこの点の考慮が必要となる。初期火災の軽減を目的とすることからは考慮しなくて良い様に思えるが、燃焼状態として発見しにくい火のため風団の火と同じで甚だ危険な状態を惹きおこす原因になる訳である。これまで多くの防火剤について調べられた結果²⁰⁾²¹⁾、防烟作用も良好であつ

たのは磷酸アンモン，有機燐化合物であったといわれる。これはC CO+26.43kcal/mol, CO CO₂+67.95kcal/molの二つの発熱量から，防烟効果のある薬剤としてはCO₂/COの生成比を小さくするものであれば燃焼の継続が困難になるため有効となる。磷酸アンモンの場合，5%含浸させることによりその値が1/10になることから説明²⁷⁾されている。然し実際には逆にインシュレーションのほか段ボール，綿，紙等ポラスであるかそうでなくても比較的空気の供給を受けやすい材料又は状態でおこりやすい現象であることと相反する理論である。兎もあれCOの生成を増すことについては防災効果のほか，避難時の人体への影響など充分の考慮をおく必要がある。

以上，5つの効果をあげた夫々の効果には関連が強い防災作用としてどの効果に最も期待すべきかは基材によっても異なり，またその大小を定量的に求めることも非常に難しい問題となる。最近示差熱²³⁾，熱天秤²⁴⁾，ガスクロマト²⁵⁾²⁶⁾等新しい機器により効果の判定を試みる研究が見え始めたが系統的に纏められるまでに至っていない。

5. 防火処理法と問題点

木質材料の防火処理法としては次に示す様に大別して5つの処理段階がある。

夫々の材料によって製造条件が異なり，工程中の材料の状態も異なるので最も処理しやすい工程が当然違ってくるが，先づ防災剤がどの程度処理される必要があるかについて述べる。

単一薬剤を用いて防災，防烟の必要量を求めることは以前から行なわれており，泉氏等の広範囲な研究調査²⁷⁾もある。実用化基礎試験としては東大，建研，林試等の協同研究である「建築材料および工法の難燃化に関する研究」があるが，我々は市販の防災剤の性能を確かめるため第7表の如く中板に一定量含浸処理し

表板の含浸量を変えて難燃合板をつくり防火性能，接着への影響を検討²⁸⁾した。

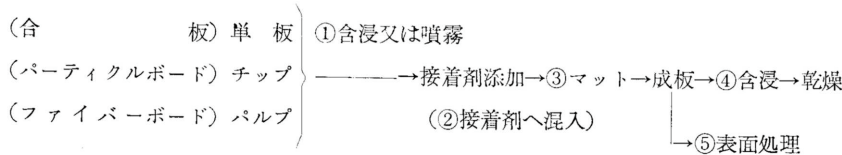
この結果，通常重量比で10%含浸させれば現在の防火性能基準に合格することを認めしたが，中には防火性では特にすぐれ5%程度で合格した有機ハロゲン，燐系混合物と無機燐系の両者は接着性が不良であった。薬液含浸前のpH等を考慮する必要がある。なお最下段に付記した発泡塗料については表記 印（メーカー指定最小量）の半量で合格する可能性がある。

先に示した製造工程のどの部分で処理するかということであるが，従来用いられている含浸防災剤による処理の二，三の問題点を拾ってみると合板の場合は乾燥単板が最も入り易いが乾燥の繰返しとなり，高濃度含浸出来る薬剤が望まれる。この際有機燐，金属塩化物等では材の変色に留意する必要がある。また一般的には前記接着への影響も考慮する必要がある。出来上がった合板への含浸は処理量が不充分であり圧入等の必要を生じ，また表面の二次加工性を悪くする。

パーティクルボードの場合は第8表に示す様に最も工程上処理しやすい接着剤混合方法（塗布量が多いため）の場合特に接着力を大きく低下させる原因となる。この点は接着剤の選択改良によって解決する必要がある。

ファイバーボードの場合は湿式法では工程中の処理が困難であり成型後の含浸が多いが硬質では入りやすく溶剤，圧入等の方法を用いても10%の含浸は困難であり，同時に膨潤等の欠点を生ずる。乾式法では解繊後のパルプ又はマットでの処理も可能になるが，シュガートラブル，熱盤汚染，寸度不安定を助長する等の点を考慮する必要がある。軟質では含浸は容易であるがポラスなため残煙を起しやすく防火塗料等を併用する必要がある。半硬質は最も処理しやすいが10%程度入れたことにより第9表に示す様に膨潤，含水率増加，曲げ強さ低下，寸度不安定等の欠点を生ずること

は避けられない。これらの欠点のうち，強度については規格値に余裕があり必ずしも欠



木質材料の防火

第7表 市販防火剤の処理量と防火性能

薬剤記号	処理方法	単板名	番号	目的附着率(%)	薬剤附着率(g)	薬剤附着率(%)	防火性能	薬剤費 円 / 3 × 6 尺
A (無機燐系)	20% 水溶液 浸漬	芯板	1	10	15.6	9.1		
			2	5	2.5	6.3	否	66.0
			3	10	4.0	10.2	合	71.4
			4	20	5.5	14.7	合	76.8
B (有機燐窒素系)	10% 水溶液 浸漬	芯板	1	6	9.7	5.9		
			2	5	2.1	4.6	否	53.8
			3	7.5	2.8	7.0	合	57.8
			4	10	3.9	9.8	合	63.6
C (有機燐系)	22.5% メタノール溶液 浸漬	芯板	1	10	18.0	10.4		
			2	10	3.9	9.3	否	—
			3	20	8.4	20.8	否	—
			4	30	11.3	27.0	合	—
D (無機燐系)	1:1 水溶液 浸漬	芯板	1	25	40.4	22.9		
			2	25	10.8	23.8	合	—
			3	30	12.7	30.8	合	—
			4	40	15.8	38.4	合	—
E (有機ハロゲン系) (有機燐系)	10% 接着剤混入 10% 水溶液塗布	芯板	1	10	3.0	—		
			2	2.5	1.0	2.4	否	58.1
			3	5	1.9	4.8	合	64.2
			4	7.5	3.2	7.0	合	73.3
発泡性塗料	刷毛塗	—	1	—	55 g/尺 ²	—	合※	400 ※
			2	—	—	—	合	—
			3	—	—	—	合	—
			4	—	—	—	合	—

薬剤費は芯板、表裏板を合計したもの

第8表 処理方法とパーティクルボード材質²⁹⁾

処理項目	含水率 (%)	比重 (%)	曲げ強さ (kg/cm ²)	曲げヤング率 ×10 ⁴ (kg/cm ²)	吸湿率 (%)	吸湿膨張率 (%)
無処理	10.9	0.65	314	2.7	2.0	1.5
前処理 5%	11.7	0.64	220	2.3	2.3	2.1
Resin 混合 5%	11.3	0.67	143	2.2	2.0	1.7
後処理 5%	11.6	0.68	278	2.4	2.6	1.6

試験方法: JISA 5908(1957)

第9表 処理ファイバーボードの材質

材質	処理による厚さ膨潤率 (%)	含水率 (%)	気乾比重	曲げ強さ (kg/cm ²)	吸水率 (%)		吸湿率 (%)	
					重量	厚さ	重量	長さ
軟質 (噴霧)	—	9.0	0.24	18	270	14.0	2.7	0.11
	6.3	12.0	0.26	8	290	12.0	9.8	0.10
半硬質 (塗布)	—	6.4	0.80	203	66.0	33.0	7.8	0.24
	5.5	15.0	0.84	155	57.5	29.5	2.5	0.13
硬質 (圧入)	—	7.5	0.95	424	15.9	13.7	2.1	0.10
	5.8	12.5	0.95	324	30.9	10.1	2.6	0.10

上段無処理 下段燻乾 5~10%処理
 吸水、吸湿率は25℃, 24hrs (但し軟質吸水は2hrs)
 処理材料の値は処理による膨潤後試料を基準

かんとはならないが、寸度安定性、膨潤等は最初に述べた無機材料と比較して木質材料のもつ3つのハンデキ

ャップである防火性、寸度安定性、価格のうち技術的な大きな問題点となる。手近な解決法として先にも述べた様に防火性能の高い発泡防火塗料を併用することによって材料に含浸させる必要量を少くし

、処理によって生ずる欠かんとを最小限に喰止めることも出来るが、繊維板の様に材料そのもののもつ寸度の不安定さを積極的に解決しなければ何れにしても建築防火材料としての伸びは期待出来ずに終ることになる。

価格の問題は木質材料としての宿命かも知れないが市価(大口需要者卸売価格)で比較してみると第10表の如くである。

厚1m/m当りの平均価格は無機材料木質材料、プラスチック等材料の比較を見やすくさせたものである。ここで注目したいのは一般材料の普通合板とプリント合板を比較した場合、価格が約3倍であるにも係わ

第10表 一般内装材料と防火材料価格³⁰⁾³¹⁾

区分	材 料 名	材厚(%)	m ² 当り価格 (円)	1%厚平均 価格(円)
一般 材 料	合 板	3 6	150 260	45
	プ リ ン ト 合 板	3 5	390 480	113
	パ ー テ ィ ク ル ボ ー ド	6 12	340 470	48
	セ ミ ハ ー ド ボ ー ド	6 6 (カラー)	150 190	25 32
	ハ ー ド ボ ー ド	3.5(S) 6.5(K)	170 490	62
	発 泡 ポ リ ス テ レ ン	15(1号) #(3号)	250 160	14
	準 不 燃 材 料	木 毛 セ メ ン ト	15 25	190 230
板 木 片 セ メ ン ト 板		30 60	440 800	14
石 膏 ボ ー ド		9 12	170 290	18
石 綿 セ メ ン ト 板		6 9	330 500	59
難 燃 材 料		難 燃 合 板	4 6	320 480
	難 燃 プ リ ン ト 合 板	3 5	720 840	240
	難 燃 セ ミ ハ ー ド	7 7 (カラー)	190 240	27 34
	難 燃 ハ ー ド	6.5	670	103
	網 入 塩 化 ビ ニ ー ル 板	1	1,300	1,300
	強 化 ポ リ エ ス テ ル 板	1	1,800	1,800

(注) 吸音板については省略した

らず近年非常にその需要が伸びていることである。難燃プリント合板では更にその2倍と極めて消費窓を減退させる価格である。一方難燃繊維板の場合は僅か無処理繊維板の30~50%高で市場に出ているにも係わらず売行が極めて悪いことである。このことは防火の立場からみれば責任回避のきらいもあるが、材料そのものの価格の割に狂い易いという欠点のためである。とすれば先づこの狂いを少なくすることが先決であるが、取敢えず目先の需要を伸ばす方法としては難燃プリント合板の様に難燃処理と表面化粧を組み合わせることによって需要の増大を図ることも必要と考えられる。このことは現行法では規制されていない一般住宅の居間、台所といった所に防火材料が持込まれることになり防火上からも望ましいことになる。

今日取上げられている防災剤とそれに附随した防災処理法は木質材料の現在の附加価値に結びついて考えられたものであるが、将来としては更に附加価値の高い紙、織物、プラスチック等の難燃化処理技術の開発と平行してそれらを取り入れてゆくことも必要であ

らう。このことは前報³²⁾で触れた様に内装材料と薄物材料とがその使用上密接な関連があることから注目する必要がある。またこれらについての研究は基材が異なるため、難燃化の要求度や手法もおのずと異なるが紙、木綿等の場合同じセルロースという可燃性有機体の不燃化という問題と取組まざるを得ない訳である。

最近従来の無機系防災剤に代って登場しつつあるPA³³⁾(ホスホリルアミド)、TAP³⁴⁾(トリアリル・ホスフェート)THPC³⁵⁾(テトラキスハイドロオキシホスホリルクロライド)等の有機燐化合物もこれらの要求から生まれたものであり、現在の附加価値からは取上げにくい処理剤であるがより高度な要求に応ずる方策としての検討は必要であろう。

プラスチックについては耐熱耐炎性樹脂として例えば珪素樹脂が出現しても即それを木材質の防災剤として当てはめる訳にはゆかないが、宇宙開発と平行しての急速な進歩は広い意味での研究の進展に一助とならう。

唯、最近のビル火災等で一般有機物から発生する一酸化炭素或いはプラスチックの熱分解により発生した有毒ガスの中毒により、避難が遅れ焼死したと見られる例もあり、建築構造と相俟って難燃化処理についてもこの点の考慮を払っておく必要があらう。

6. むすび

現在の木質材料の防火に関する最近の知見は防火薬剤では有機燐化合物、金属塩化合物の開発であり、防火機構についても研究の糸口が把みかけられ、また実用上もこれまでの知見を基にした処理の実用化が一応行なわれつつある云わば新しい飛躍のための誕生期を迎えた状態といえよう。次の段階の発展のためには防火機構、防災剤、処理法の三者何れもが良く連携のとれたより深い豊富な知見を得なければならぬ必要に直面している。一方悲観的に見れば今日の状態はこれまでの知見では突破れない一つの大きな壁に突当たっている

ともいえる。然しながら新しい機器を武器とした燃焼過程の解析が進み、プラスチックの飛躍的發展を取り入れた防災剤、処理法が開発されれば他種材料との複合等もこれまで以上に広範囲に行なえる状態になって来ているし、寸度安定についても高分子加工の新しい分野として検討³⁶⁾³⁷⁾されている今日を思うとき、大いに努力する機会を与られていることを痛感させられるものである。

統計資料、写真等の提供を受けた道災害消防課、東京消防庁ほかの方々に謝意を表する。

文 献

- 12) 布村, 林指月報134, p. 6 (昭和38年)
- 13) 桜井, 火災の研究 . p. 130相模書房 (昭和28年)
- 14) 三浦, 木材保存ハンドブックP. 290 昭晃堂 (昭和36年)
- 27) 泉, 建築用木質材料難燃化処理に関する調査 (昭和36年)
- 28) 布村, 林指月報135, p. 20 (昭和38年)
- 29) 岩下, 木材工業15, p. 4 (昭和35年)
- 30) 井上, 建築材料5, p. (昭和40年)
- 31) 建築物面調査会, 建築物面 No. 361 9. (昭和40年)
- 32) 布村, 林産誌月報149, p. 2 (昭和40年)
- 36) 井手, 高分子12, 636 (昭和38年)
- 37) 松崎, 紙ノ技協誌19, 12, 1 (昭和40年)

- 林産誌 木材保存科 -

訂 正

先月号 (No. 149) で誤りがありましたので訂正してお詫びいたします。

該当箇所	誤	正
目次 2 行目	木質材料の防火(2)	木質材料の防火(1)
2 頁上より12行目	ルイ 8 世	ルイ 18 世
5 頁下より10行目	不燃材料	準不燃材料
〃	740度	655度