

## 第6回木質ボードシンポジウム(I)

### (社)日本木材加工技術協会関西支部

去る2月26日から27日までの2日間にわたり、新大阪シティアラザにおいて、第6回木質ボードシンポジウムが(社)日本木材加工技術協会関西支部の主催で開催された。参加者はボード製造メーカー、接着剤メーカー、機械メーカーの技術者を中心に120名を数えた。今回は最近話題になっているボードの防耐火性、新素材の製造技術と利用、二次加工関連機械を主とする機械装置・プラント開発など三つのパネル討論会がおこなわれた。題目、司会、および講師の各氏は以下のとおりである。

第1日 パネル討論会(I) 木質ボードの耐火  
司会 京都大学木材研究所 今村祐嗣氏

- 1) 炭素材料積層ボード  
京都大学木材研究所 川井秀一氏
- 2) 木質系ドアの防火性能向上開発について  
(株)日本住宅・木材技術センター  
山田 誠氏
- 3) 薬剤によるボードの難燃化  
京都大学木材研究所 石原茂久氏

第2日 パネル討論会(II) 最近話題の木質材料と  
その応用

司会 京都大学木材研究所 川井秀一氏

- 1) MDFを基材とした天然木化粧建材  
朝日ウッドテック(株) 中島 力氏
- 2) T J I トラス  
大鹿振興(株) 荒木五郎氏
- 3) Parallam

Macmillan Bloedel of America Inc.  
William Bolduc 氏

(通訳) マクミランブローデル(株) 鈴木 哲氏

パネル討論会(III) 機械装置とプラント

司会 京都大学木材研究所 佐々木 光氏

- 1) Short Cycle Laminating Machines  
ウェスターントレーディング(株) 阿部 徹氏

2) 木質ボードの自動カットシステム

(株)ウロコ製作所 北村信護氏, 森崎栄治氏

3) 木質マットの搬送・プレスシステム

ニチメン機械貿易(株) 河野通孝氏

### パネル討論会(I) 木質ボードの耐火

#### 1. 炭素材料積層ボード

木材は260℃で着火、炎をあげて燃えるが、それに伴って表面に炭化層を形成するため、熱の透過を防ぎ、逆に内部の炭化を抑制する。このため火災時にあっても避難や消火活動に要する時間程度は十分な構造耐力を保持する。大断面集成材の建築が盛んになっている由縁である。しかし、これは木材が大断面の柱や梁として使用された場合であって、木質ボードのように比較的薄い面材料として使用される場合には火炎が容易に裏面へ貫通して燃え抜ける。

木質ボードは、素材よりもむしろ熱応力を分散しやすく、熱変形も小さいが、全体として面密度(単位面積当りの質量、すなわち材料の密度×厚さ)が小さいことがこの主な原因となっている。したがって、ボードを厚くすることが耐火性能を高める最も手近かな方法であるが、各種の制約からこれができない場合には、物理的あるいは化学的手段によって表面の着火を抑える工夫も必要である。

炭素材料は、一般に耐熱性や耐炎性に優れ、高温下での耐力の低下も緩徐である。さらに熱的な性質が木材と類似しているため、複合材料にした場合の親和性が高い。ここでは、木炭やグラファイトなど、炭素材料を積層したパーティクルボードを3種類の耐火試験に供試し、その性能を評価した。

高温火炎(1150-1300℃)による火炎貫通試験の結果をみると、コントロールボード(パーティクルボード)は実験開始後すぐに着火し、約8分後には裏面が260℃に達し、10分後には火炎が貫通した。

これに対して、炭素材料積層ボードの火災貫通時間は、フェイス材料である炭素の種類によって大きく異なるが、いずれもコントロールのそれを上回っており、展延性も認められない。とくに、グラファイト（グラファイト・フェノール球状粉粒体、GPS）を積層した複合ボードは、試験開始後90分を経てもなお接炎部とその周辺に赤熱が生じているだけで、火災の形成が認められなかった。

炭素材料の熱重量減少曲線を見ると、木材が200℃前後で重量減少を開始するのに対し、バーク炭のそれは300℃、鱗片状グラファイトのそれは550℃で開始する。後二者の間でGPSボードの重量減少開始が認められ、二段階の減少を示す。前段の減少はフェノール樹脂の分解、あるいは酸化反応によるもの、後段の減少はグラファイトによるものと推定される。このようなグラファイトの優れた耐酸化反応性には固定炭素量など組成の影響もあるが、物理的な構造の影響も見逃せない。すなわち、グラファイトは圧縮によって鱗片状を形成し、火炎や酸素の内部への侵入を防ぐのに対して、木炭は粒状であって、間隙から比較的容易に火炎が浸透しやすい。

火炎下におけるクリープ試験の結果をみると、コントロールボードのクリープ破壊にいたる時間は、積載荷重が10kg（破壊荷重の約1/5）および5kg（同1/10）の場合、それぞれ約4分および7分である。バーク炭あるいはおが屑炭を積層したボードのクリープ破壊時間は20分前後を示し、コントロールボードに比べると、同一荷重比で約5倍、同一荷重でも約3倍の高いクリープ性能を示した。グラファイト積層ボードはさらに高い耐火炎下クリープ性能を示し、コントロールボードのそれぞれ18倍ならびに10倍のクリープ破壊時間を示した。これらの複合ボードは、いずれも加熱表面が赤熱してパーティクルが炭化していくが、着炎燃焼は認められなかった。

一方、木片セメント板および石こうボードのクリープ破壊時間は、荷重比が1/5（載荷荷重はそれぞれ2kgおよび0.4kg）では、それぞれ12分および8分であり、コントロールボードに比べて若干優れている程度に過ぎない。これら無機系材料は高温にさらされると脱水反応を生じ、結合力を

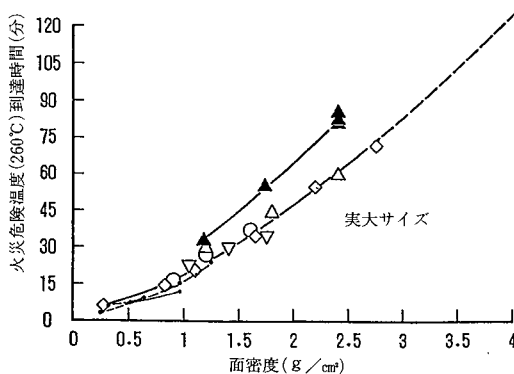
失うためにボードの耐力は急激に低下すると考えられる。着炎性がなく不燃材料として扱われている無機系材料の高温下の耐力性能が必ずしも十分でないことは注目されるべきであろう。

実大サイズのグラファイト積層ボードをJIS A 1304に準拠した耐火標準加熱曲線にボード表面を晒し、火炎閉じ込め性能を検討した。裏面温度の経時変化をみると、裏面に熱が伝達されるまでに数分を要したのち上昇を始め、100℃近くに達するとしばらく定常状態が続く。その後再び上昇して裏面が260℃に到る。定常域の出現は、木材中の含有水分の蒸発によって熱エネルギーが消費されるためと考えられ、水分の存在が裏面温度の上昇抑制に極めて効果的であると推定される。

GPSボードの裏面温度の上昇はコントロールボードに比べると緩やかであり、グラファイト層による着炎燃焼の遅延効果が認められる。GPSボード表面の着火は、内部のパーティクル層の熱分解や熱収縮による亀裂に伴って、表面のグラファイト層にも亀裂が発生し、このため内部から生成する可燃ガスに着火することによるが、グラファイト層のはく落は認められない。

材料の面密度と裏面が火災危険温度に到達する時間とのあいだには比例的な関係が見いだされ、これまでに得られたデータをもとにこの関係を求めると第1図のようになる。図より、比重や厚さ

	厚さ mm	比重
○ 低比重パーティクルボード	30~40	0.3~0.4
△ パーティクルボード	20~40	0.6
▲ GPS40積層ボード	20~40	0.6
▽ 市販パーティクルボード	15~25	0.7
◇ 合板	5~50	0.55(推定値)
・ 無機系防火材料		



第1図 各種木質パネルの耐火性能

の異なる低比重パーティクルボードやコントロールボード(パーティクルボード)、また市販のパーティクルボードならびに合板をも含む木質パネルの耐火時間は面密度に比例し、すべて下にやや凸な同一曲線上にプロットされる。

この試験によると、石こうボードやケイ酸カルシウム板などの無機系防火材料の耐火性能は、木質系パネルと同等かむしろ劣っている。無処理の木質パネルに1時間耐火の性能を付与するには2.5程度の面密度が必要である。外挿が許されるならば、2時間耐火には4.0の面密度が必要であるから、たとえば比重0.4のボードでこれを実現するなら、厚さが100mm程度要ることになる。GPSボードは、これら木質系パネルより10~40%耐火時間が長く、火炎閉じ込め性能が向上している。

2枚のGPSボード(厚さ25mm, 比重0.7)のあいだにロックウールを詰めた厚さ60mmの実大2重壁パネルを作製し、燃焼試験をおこなった。

パネルの厚さ方向に沿って挿入された熱電対より得られた各層の表裏面の温度経時変化をみると、1層目の表面は標準加熱曲線に沿って温度が上昇し、その裏面は前述の単体のボードと同様な温度上昇を示す。一方、2層目のボード表面温度は、1層目の裏面が100℃を越えたあたりから緩やかに上昇を開始し、1層目裏面に燃え抜けが起こったと推定される60分後から急激な上昇を見せる。2層目のボード裏面の温度は、表面温度の上昇とともに上昇を始め、1層目と同様な曲線を描いて93分後に260℃に達し、裏面への燃え抜けは102分後に観察された。

以上、グラファイトを中心とする炭素材料を積層したパーティクルボードが耐火性能に優れた木質系複合材料として、高いポテンシャルをもつことを明らかにした。

## 2. 木質系ドアの防火性能向上開発について

建築物のドアや窓など、開口部に要求される防火性能は、火災を区画内に抑え、他の区画に拡させないことが期待されている。したがって、建築基準法施行令では、建物の構造、規模、用途などにより延焼のおそれがある、防火性が要求される部分には甲種防火戸または乙種防火戸の使用

を義務付けている。建築基準法施行令に定められた防火戸の構造は、甲種防火戸にあっては骨組みが鉄で作られたものが主体になっている。乙種防火戸の構造も概ね前者と同様であるが、そのほか鉄製サッシやガラスの入った戸、さらに対象が極めて限定されてはいるが、一部木製のものも建前としては認められている。このほか、建設大臣がその構造を認定指定する、いわゆる38条特認があるが、甲種防火戸については、大臣が認めるための試験方法と判定基準が現在のところ定められていない。一方、乙種防火戸の判定にはJIS A 1311「建築用防火戸の防火試験方法」に規定された防火2級加熱試験が用いられる。

甲種防火戸は、階段室の入口や非常用エレベーターにつながる出入り口など避難路の確保が重要で、火炎の閉じ込め性能が要求される位置に設置が義務付けられている。一方、乙種防火戸は隣地境界線などからの距離(1階で3m)により、延焼の恐れのある外壁の開口部のほか、11階以上の面積区画などのような建物内部にも「甲種防火戸または乙種防火戸」として設置が義務付けられている。乙種防火戸の判定に用いられる防火2級加熱試験は、昭和初期におこなわれた純木造建物の火災実験の結果をもとに、燃えている建物の外壁面から3m以内の面が受ける熱がこれに相当するとして採用されたと推定される。この試験方法からみて、乙種防火戸は隣棟火災からの被害を防ぐ受害防止性能(類焼防止性能)を要求されていると認められるが、加害防止性能(延焼防止性能)が求められる建物内部の防火戸としては、必ずしもその論拠が明確でない。

屋内に用いる防火戸の場合には、熱を遮る性能(遮熱性能)、炎を遮る性能(遮炎性能)、煙を遮る性能(遮煙性能)などが要求されている。これらの性能のうち、建物の用途や設置場所によっては一部の性能、とくに遮炎性能が十分であれば、不燃材でなくとも防火性のある開口部が可能であると思われる。木材は燃焼によって表面に炭化層を形成し、火炎や熱の貫通を遅らせる。現行の建築基準法令では、木製ドアは甲種防火戸および乙種防火戸のいずれにも認められていないが、遮炎性や遮熱性に優れた木製ドアを開発すれば、建物

の火災安全性を向上できる。事実、このような考え方から、欧米では木製ドアが防火戸として認められている。

このような背景から、現在日本建築センターの「防火戸試験研究委員会」では、甲種防火戸と乙種防火戸の試験方法およびその判定基準の再検討がおこなわれている。ここでは、木材やプラスチックなど可燃材料を含む防火戸についても検討の対象となっている。他方、建設省の総合技術開発プロジェクト「新木造建築技術の開発」では、防火性を有する区画部材の開口部に使用する木製ドアの開発が進められている。昭和62年度には、木製ドアを内部の開口部にもつ枠組壁工法3階建て住宅の実大火災実験がおこなわれた。この結果をみると、開口部が開けられている場合、点火7分後には点火室がフラッシュオーバーし、15分後には3階まで火が入り、2階はフラッシュオーバーに到る。これに対して、開口部が閉じられている場合には、点火室のフラッシュオーバーに15分を要し、階上への延焼に到らない。すなわち、ドアが開いていると、火のまわりが早く、1階から3階までの全棟火災になる危険が大きい。木製ドアが火災の抑制に有効であることが判明した。

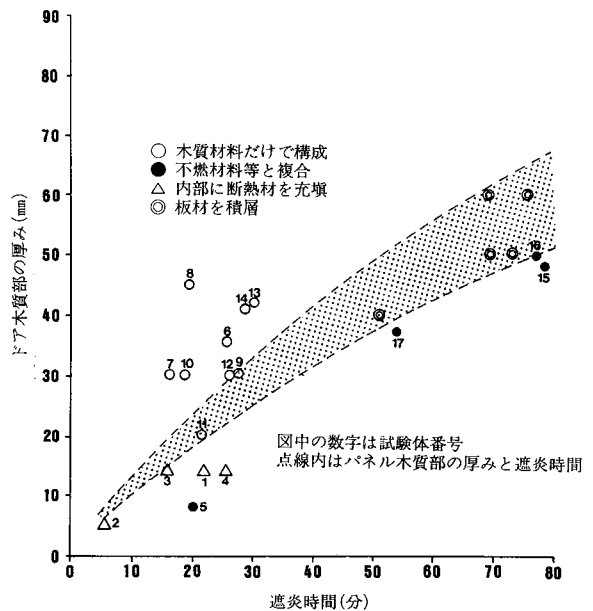
このうち、耐火加熱試験用の大型実験炉において木製ドアの耐火性能を確認し、現在目標性能として30分、60分、場合によっては90分の性能をもつ木質系ドアの開発をおこなっている。これまでおこなった木質系ドアの燃え抜けの形態を分類すると、およそ次のように分類される。1) 20分以内の耐火性能：ドアノブ上部の面材部分の燃え抜け、2) 20～30分の耐火性能：ドアの反りにより枠材とのあいだに隙間ができ、枠材に着火、3) 30分以上の耐火性能：ドアノブ周辺の着火。このように木質系ドアの弱点の一つは、ヒンジ側は2点以上で強固に保持されているが、ドアノブ側は支持が1点であるため、加熱側が収縮すると反りが発生し、炎や煙の遮断効果が失われることである。このため、ドアと枠材のあいだには加熱によって発泡し、充填効果をもつケイ酸ソーダ板などを利用して、密閉する必要がある。もう一つの弱点はドアノブ周辺で、この部分は非加熱側までの貫通孔があるので、長時間の耐火試験になると燃

え抜け易い。

第2図にドア木質部の厚みと遮炎時間の関係を示す。破線内の範囲は、両面に合板や板材などを張った木質パネルの両面の木質部の厚みと、燃え抜け時間が概ね比例的な関係にあることを示しているが、これより上側に位置する木質系ドアは反りやドアノブ周辺の弱点によって、板厚相当の性能を示さなかったことになる。不燃材料や断熱材を組み合わせた木質系ドアは、全般に複合効果が現われ、下側に位置している。

以上のような結果から、木製ドアの防火設計上のポイントをあげると、次のようになる。1) 遮炎時間、遮熱時間の目標を設定する。2) 対応する材料を選択する。3) ドアと枠材に防火処理を施す。ドアの反りを防ぐとともに発泡剤を使用する。このほか、ノブとヒンジなど非加熱側まで貫通する孔の処理や、ノブおよびヒンジ自体を新たに開発する必要がある。4) 十分な構造安定性が必要である。経験的にはドアの厚みを10mm程度余分に見ておく。

防火戸試験研究委員会では、現在防火戸の試験方法案と告示案の検討作業にはいっており、3月末までに告示案を作成する予定になっている。検討内容の詳細を明らかにすることはできないが、木材やプ



第2図 ドア木質部の厚みと遮炎時間

ラスチックなどの可燃材料を含む防火戸の可能性を認めること、国際化という観点から各国の試験法と整合性をもたせることが基本的な検討事項に入っている。この点からみると、防火用加熱試験はわが国独特の試験法であるので、思想的根拠を明確にする必要がありそうである。一方、耐火用加熱試験に用いられる標準加熱曲線は、わが国のものを含め、ほぼ各国共通であるが、試験終了後の衝撃試験は、現在ではわが国だけに残されている。残炎・残じんの判定基準についても、様々な角度から検討が重ねられている。

### 3. 薬剤によるボードの難燃化

木材の高い遮炎性や遮熱性はその物理的性質、すなわち、1) 比熱が大きい、2) 多孔質で熱伝導性が低い、3) 熱膨張・収縮が小さい、4) 多成分系のため複合熱分解挙動をし、明確な二次転移点をもたない、5) 炭化層を形成しやすい、6) 水分が存在する、などに起因している。このため、木材は耐火性に優れた材料といえるが、一方で燃えることを前提として考えるべき材料であり、この防耐火を考える場合には、燃焼の抑制・制御が大切になる。

木材の難燃処理には、熱エネルギーや酸素供給の遮断、可燃性成分比の低減など、物理的な抑制機構に基づく方法と、難燃剤を添加・塗布したり、難燃剤との化学反応によって改質するなど、化学的な抑制機構に基づく方法がある。前者については、不燃材料の積層処理やセメントや石こうとの混合処理などがなされているが、材料の比重が高くなり、木材固有の特性の一部を失うことが多い。

我が国の建築基準法では防火材料を不燃材料、準不燃材料、および難燃材料の3種類に区別している。一般に、不燃材料は95%以上の無機質原料によって構成する必要があり、準不燃材料にあつては、およそ70%以上のそれを必要とするから、これらの材料に木材の特性を期待することはできない。これに対して、難燃材料は化学的処理、たとえば薬剤の選択が適当であれば数%の薬剤の添加によって、木材の特性を失することなく容易にその性能を獲得できる。法令では、この三者の防火上の格付けを同列において性能比較をおこなっ

ているが、難燃材料に対して前二者と同等の性能を求めるのは必ずしも適当でない。基準法が求める総合的な要求性能に対して十分でなくても、着火性、展延性、発熱性、発煙性、耐火性などの個別性能が優れていれば、用途や使用条件によって防火上の安全性を保障することができる。

木材や木質材料の燃焼抑制・阻止の方法や、用いられる薬剤の種類は材料の用途によって異なるが、難燃剤に共通して求められる条件は燃焼抑制作用と煙の生成抑制作用である。加えて、被処理材の強度や被削性などの物性、加工性を損なわないこと、耐久性や作業安全性が高いこと、廉価であるなどの条件を満たすことが必要である。難燃剤開発の目標は、上述の要件を満足させる薬剤を合成・配合することである。そのためには、木材の熱分解や燃焼の機構とそれらの制御機構を把握し、難燃化の機構を解明することが必要である。さらに難燃剤がもつべき化学的性質を明確にした新たな薬剤の設計・開発が求められる。その際、木材の特性を損なわないことや毒性の除去に留意すべきであろう。

難燃薬剤として使用しうる化合物の元素はLi, Na, K など元素周期律表I族アルカリ金属の元素, Ba, Ca, Mg のII族アルカリ土類金属, N, P, V, As などV族の元素群, F, Cl, Br, I などVII族の元素群, そのほかS, Ti, B, Sn, Siなどの元素を含む化合物のうち、かなりのものが燃焼抑制作用をもつ。

木材の燃焼は、火炎の有無によって発炎燃焼(有炎燃焼)と赤熱燃焼(表面燃焼)に大別され、前者の抑制・阻止を防炎(防火)、後者のそれを防じんといい、両者の機構は全く異なる。たとえば、ホウ素は顕著な防じん作用をもつが、アルカリ金属との組み合わせで発炎燃焼の抑制に対しても相乗効果を発揮し、同様にアルカリ土類金属との組み合わせで相加作用が見いだされている。リンは着火および発炎燃焼の段階(気相)では効果が十分でなく、熱分解過程(固相)で有効に作用する。この元素は窒素およびハロゲンとのあいだに相乗作用をもち、木材・セルロース系材料の燃焼抑制剤の主要な配合はこれらの組み合わせである。

ハロゲンは着火・発炎燃焼過程の制御を可能に

し、窒素やアンチモンとの組み合わせで強い相乗作用を示す。したがって、燃焼抑制剤（難燃剤、防火剤）は単一の有効元素で構成されることはなく、相乗作用、相加作用、その他の性能付与を兼ねた複数元素によって構成されるのが一般的である。木材に対しては、リン・窒素あるいはリン・窒素・ハロゲン、ハロゲン・アンチモン、ホウ素・アルカリ金属のそれぞれを組み合わせた三つの系統が広く用いられている。

難燃薬剤の処理方法には、添加型、反応型、塗布型の三種類がある。添加型の難燃処理は、注入・浸透によるものと、添加・混合による方法がある。浸透法は無機系難燃剤や有機リン系難燃剤を含浸させる最も一般的な方法であるが、近年盛んに試みられている、いわゆる複合化もこの範疇に入る。たとえば、難燃性ビニルモノマーやビニリデンモノマーを木材中に注入し、熱処理や放射線照射によって重合をはかる WPC 化、あるいはカチオン水溶液を木材中に拡散させたのち、アニオン水溶液を拡散浸透させて、不溶性高融点の化合物を木材中に析出複合化することなどである。木質ボードの難燃処理には、パーティクルやファイバーにリン酸やホウ酸粉末などの防火薬剤を添加混合する方法もおこなわれている。

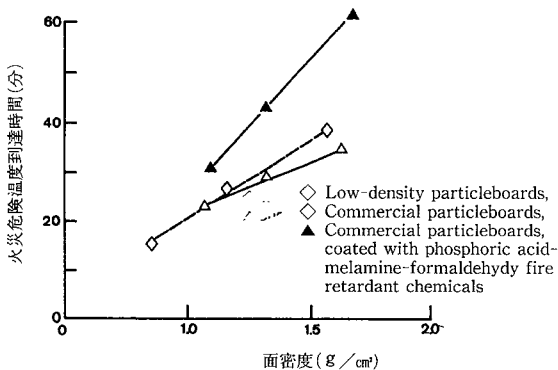
反応型の処理は、化学反応によって改質をはかるものである。セルロースのリン酸エステル化、リン酸化、硫酸化、メシル化・トシル化、あるいは

はリグニンの臭素化などがこの例であり、実験室レベルでは興味ある知見が得られているが、実用化にいたっていない。トリアジン化合物は、リンの存在下で高い難燃性を発揮する。たとえば、メチロールメラミンをリン酸で処理したものは極めて有効な難燃剤となる可能性をもっている。モノリン酸アンモニウムやポリリン酸アンモニウム粉末をパーティクルやファイバーに混合し、成板後高温熱処理を施すことによって、エステル化する処理法も注目される。

塗布による処理は、材料表面に難燃（防火）塗装を施すものと接着剤に難燃剤を混合したり、接着剤自体を改質する方法がある。UMF 接着剤にリン酸やホウ酸を添加混合したものや、MDI 接着剤にリンを混合した防火接着剤には顕著な効果が認められている。塗装による難燃化は現在法令では認められていないが、ドアフレーム、その他部分的な処理が可能であり、その効果も大きい。

リン酸メラミン付加縮合物を防火塗料として、表面処理したパーティクルボードの耐火性能を第 3 図に示す。図より、同一面密度でみれば、防火塗料は燃え抜け時間を 1.6~2 倍に遅延させる。防火塗料は、材料表面の難燃防火被覆のみでなく、材料内部への薬剤の浸透によって火災時の激しい熱気流による被覆の崩壊・剥落を防止し、材料表面での脱水炭化を促進する役割も担っており、このような相乗作用によって、顕著な燃焼抑制効果が得られるものと思われる。

(文責・京都大学木材研究所 川井秀一)



第 3 図 防火薬剤を塗布したパーティクルボードの耐火性能

