

平成 24 年度林野庁補助事業
地域材供給倍増事業のうち
内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業

準不燃性能を持つ内装用単板積層材 (LVL) の開発

一般社団法人 全国 L V L 協会

目次

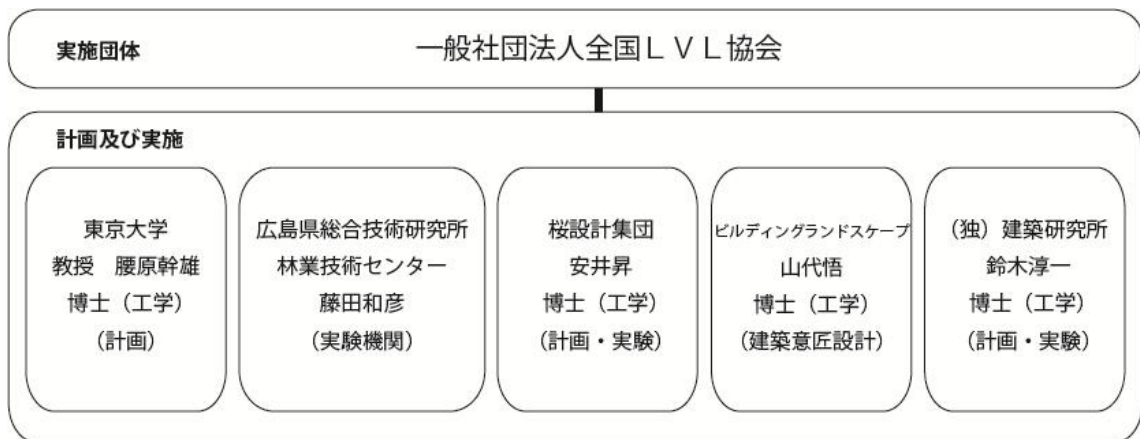
1.	開発の目的・背景	1
2.	単板積層材 LVL とは	2
3.	準不燃単板積層材の開発	
3. 1	開発概要	3
3. 2	実用化の目標	8
3. 3	発熱量測定試験の方法	9
3. 4	開発における各タイプのメリット・課題	12
3. 5	開発 ① : 単板含浸タイプ	15
3. 6	開発 ② : 製品注入タイプ	50
3. 7	開発 ③ : 表面塗布タイプ	63
4.	準不燃材料の性能評価試験	74
5.	まとめ	76
	付録 LVL 準不燃材料開発研究ブック	89

本事業は、平成 24 年度林野庁の補助事業「内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業」を受けて、一般社団法人全国 LVL 協会を中心として LVL（単板積層材）の準不燃材料の大臣認定取得を目指して取り組んだ開発研究です。

2013. 3. 31

一般社団法人 全国 L V L 協会

「委員会体制」



1. 開発の目的・背景

構造材としての LVL の特徴は、柱梁といった線材として使用できること、さらに壁や床といった面材としても使用できることです。一方、意匠材（仕上材）としての特徴は、その製造方法から生じる木目面と積層面という全く異なる 2 つ表情をもっていることです。構造材をそのまま仕上げ材として使用してきた日本の木造建築においては、この 2 つの特徴をいかに活かしていくことができるかが、これからの木造建築の魅力を増すために非常に重要な要素になります。

これまでの日本の木造建築は、木をあらわしで使うこと、木が見えること、木に触れることがあたり前でした。しかし、都市に建つ木造建築「都市木造」では、昔から使用しているからといってそのまますぐに使えるわけではありません。当然、現代の建築に要求される性能を満足しなければなりません。個人住宅のように特定の人を使用する建築とは異なり、都市部の大型木造建築では不特定多数の人が出入りするようになり、それにともない火災に対する安全性確保から内装材にも高い防耐火性能が必要とされることになります。

本研究では、内装材としての LVL の魅力を引き出しながら火災に対する安全性を確保することができる部材の開発を目指しています。

2. 単板積層材 LVL とは

LVL は、ロータリーレースまたはスライサーで切削した単板を、その繊維方向をほぼ平行にして積層接着したものです。現行の LVL の JAS においては、造作用と構造用の 2 区分があります。

構造用 LVL の用途は、主に建築物の耐力上主要な部位である梁、柱、土台、筋交い等です。造作用 LVL の用途は建築用については間柱や野縁、階段部材といった内部造作材料、建築用以外では家具、ドア等フラッシュパネルの枠材や梱包用資材があります。

単板の繊維方向を平行にして接着するのが基本ですが、造作用にあつては、直交する単板を規定の範囲内で入れることが可能で、ある程度面的にも使えます。構造用にあつては、直交する単板を入れる場合はその位置が限定されており、同時にその枚数も限定されています。よって、JAS における構造用 LVL は軸方向にはその強さが発揮されませんが、軸方向と直交する方向では強度を保持しにくく、面で使うよりも軸で使うことに主眼が置かれてきました。

① 高い寸法安定性

材料となる単板は十分に乾燥させてから接着するため、製品も十分乾燥したものができます。よって、乾燥収縮が起きにくく、製材等と比較して曲がりや反りなどの狂いが起きにくくなっています。狂いが生じにくいということは、施工現場において間柱、垂木、野縁等の羽柄材のロットアウト率を低くすることや、壁や天井のゆがみや段差の発生など引き渡し後のクレームを減らすのに有効と言えます。（逆に、十分乾燥されているということは、濡れると膨張しやすいということを意味しています。使用される方は十分ご注意願います。）

②. 強度のばらつきが小さい

LVL は薄い単板を積層接着しているので、節などの欠点が分散されることもあり、製材あるいは集成材と比較してエレメントが小さい分強度のばらつきも小さくなっています。強度性能が工学的に保証された信頼性の高い木質材料、すなわち優れたエンジニアードウッドであると言えます。

③. 用途に応じてどのような寸法でも製造可能

単板を縦継ぎすることでどのような長さでも、また積層数を変えることでどのような断面寸法の製品を製造することができます。つまり、間伐材のような小径丸太からでも、単板が取得できれば大きな断面の LVL を製造することができます。大断面から小断面まで、サイズにおいては高い自由度があります。 残念ながら JAS において湾曲材の規定がないので、構造用集成材が得意とする湾曲材は LVL では JAS による格付ができません。

④. 防虫、防腐、防蟻などの薬剤処理が容易

「単板」という薄い材料を使用しているため、接着剤に薬剤を混ぜる方法による処理（接着剤混入法）あるいは接着前の単板への加圧注入による処理で、断面に対して均一に薬剤が浸透した製品が製造できます。多数ある接着層を中心に薬剤が浸透するため、難注入材にも対応が可能です。当然、加圧注入による処理も可能です。

⑤. 積層面が持つ模様の魅力

薄い単板を積層しているため、切断面にはしましまの模様が出来ます。この模様は他の木材及びエンジニアードウッドではないため、近年内装材としての利用が注目され始めています。



図1 LVL用の単板



図2 2次接着を終えたLVL



図3 LVLの積層面を内装材として使用した事例

3. 準不燃単板積層材の開発

3.1 開発概要

3.1.1 開発に取り組む3つのタイプ

近年、木質内装のニーズが高まり、建築基準法の内装制限で規制される壁・天井等に使用可能な木材が普及しはじめている。それらの多くは、スギやヒノキ等の針葉樹及びタモ等の広葉樹の製材であり、昔から使用されてきた部位（壁の羽目板や天井材など）に、建築基準法の不燃材料、準不燃材料または難燃材料の国土交通大臣認定を取得して使用できるようにしたものである。

一般に、木材を不燃化する場合、防火塗料の塗布や、リン酸またはホウ酸系の不燃化薬剤を加圧含浸する方法が考えられる。前者は、木材の表面のみに塗布するもので、塗料が不燃性であっても、木材の燃焼を抑制して建築基準法の不燃材料等の要求性能を満足するのはなかなか難しい。ただし、水ガラス系塗料で表面を完全にコーティングして、木材表面への酸素の供給や表面温度の上昇を抑制できれば実現可能性がある。また、後者は製材を中心に技術が普及しており、不燃材料、準不燃材料の大臣認定取得事例も多い。壁や天井材をつくる場合、製材、合板、LVL 等を利用することが考えられるが、それらを薬剤処理する場合、前述の防火塗料の表面への塗布では大きな差はでないと予想される。一方、不燃化薬剤の加圧含浸では、完成品に処理する場合、貼り合わせ前の単板に処理する場合の2種類が考えられ、木材の不燃化では、部材断面にできるだけ

均一に不燃化薬剤を加圧含浸したいので、完成品よりも単板のほうが単位体積あたりの表面積が大きく含浸しやすい可能性がある。

これらの背景のもと、今回の技術開発では、建築基準法の内装制限がかかる壁・天井のいずれの部分にも使用可能な「準不燃材料」の LVL を開発することを目的として、意匠（視覚、触覚）、準不燃性能の安定的確保、製造方法及びコストに重点をおいて、以下の不燃化の手法について開発を進めることとした。なお、「準不燃材料」とすれば、建築基準法の内装制限で規制される壁・天井のいずれの部分でも使用することができる。

1. 単板に薬剤を含浸させて貼り合わせて製品化する（以下、単板含浸タイプ）
2. 製品（単板を貼り合わせた後）に薬剤を加圧含浸する（以下、製品含浸タイプ）
3. 製品に耐火塗料を塗布する（以下、表面塗布タイプ）

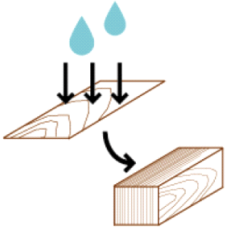
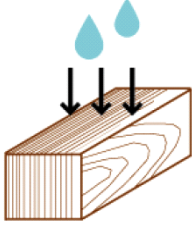
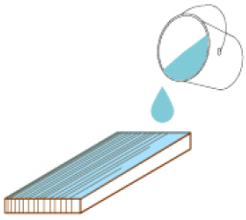
①は LVL 等単板を貼り合わせてつくる製品特有の手法でありこれまで開発が実施された事例は少ない。

②は従来のスギ等の製材の不燃化で用いられている手法であり、加圧含浸方法としてはもっとも実績がある。

①、②ともに含浸した薬剤（水溶性）が溶出しないように、表面に水分の出入りを絶つための塗装が必要となることが多い。

また、③は鉄骨造の耐火塗料と同じ原理で表面に塗膜（断熱及び保護層）をつくり、木材表面に入る熱を抑制して木材が燃えないようにするもので、木材そのものを不燃化するものではない。

表1 3タイプの比較

内容		①単板含浸タイプ	①製品含浸タイプ	①表面塗装タイプ
製品概要	処理方法			
	表面塗装	要	要	不要
意匠性	触感	一般的なポリウレタン同等	一般的なポリウレタン同等	ガラスコーティングのような感触
	色味	クリア、白木風、焦げ茶等で選択可能	クリア、白木風、焦げ茶等で選択可能	・
加工性	切断	可	可	可
	サネ・仕口加工	可	可	可
	切断面の準不燃処理	現場処理不要	現場処理不要	木口が露出する場合は、現場塗布が必要



①単板含浸タイプ



②製品含浸タイプ



③表面塗布タイプ

3. 2 実用化の目標

国産材（B 材）の有効活用のため、単板積層材を建築用内装部材として、建築基準法の準不燃材料の規準に適合する火災安全性を付与した、また、積層面を表しにした新しい模様の内装材を提案する。

① 単板に難燃薬剤を注入または含浸させて積層接着する方法（単板含浸タイプ）

さらに、大量生産に対応するために大量の単板を減圧加圧により注入する方法と、少量生産に対応するために温冷浴法など簡易な設備により注入する方法を検討する。

② 単板積層材に難燃薬剤を注入させる方法（製品注入タイプ）

製品に注入するために、注入量の増加が見込まれる減圧加圧による方法を検討する。

③ 単板積層材表面に不燃化塗料をコーティングする方法（表面塗布タイプ）

最も簡易な方法と考えられる塗料のみで準不燃化が可能かどうか検討する。なお、未加工の積層面を表しにした内装材と難燃薬剤や不燃化塗料による色調の違いも比較する。

3. 3 発熱量測定試験の方法



1) コーンカロリメーター発熱性試験

10 cm× 10 cm×実厚さの試験体に 50kW/m²の加熱と口火を与え、酸素消費法により発熱速度を測定し、総発熱量を推定する。準不燃材料の場合、10 分間の総発熱量が 8MJ/m²以下、最高発熱速度が 10 秒以上連続して 200kW を超えないこと、防火上有害な裏面への貫通、亀裂穴が生じないことを確認する。

2) 模型箱発熱性試験

小規模な室（幅 84 cm×高さ 84 cm×奥行 168 cm）の内装（壁・天井）を再現して室隅角部で 40kW のバーナーで出火させて、酸素消費法により発熱速度を測定し、総発熱量を推定する。準不燃材料の場合、10 分間の総発熱量が 30MJ（火源分として 20MJ を除く）以下、最高発熱速度が 10 秒以上連続して 140kW を超えないこと、防火上有害な裏面への貫通、亀裂穴が生じないことを確認する。

表2 発熱量測定試験

区分	コーンカロリメーター試験	模型箱試験
試験装置外観		
試験体寸法	10cm × 10cm	84cm × 84cm × 168cmが内法の模型箱 (壁・天井の仕上げを再現)

3.3.1 実施した試験

1) 単板含浸タイプ

1-1. 注入試験

注入試験は、未乾燥単板に難燃薬剤を注入できれば加工工程上有効であるため、未乾燥単板に減圧加圧法、及び温冷浴法を試した。次に乾燥単板について減圧加圧法、及び温冷浴法により注入量を確認した。

1-2. コーンカロリメータ発熱性試験

まず、未注入の単板積層材における接着剤の発熱量への影響を調べた。なお、市販の難燃薬剤を用いたため、既存のデータから準不燃規準に適合するためには、平均 160 kg/m³程度の薬剤固定量で可能と推定されるため、注入単板積層材の当該試験は行わなかった。

1-3. 模型箱発熱性試験

模型箱試験は、小規模室の内装を再現した試験体で行うが、節の影響を実寸で確認できるため、木材の準不燃化確認試験には適当であると考えられる。また、燃え抜けに関して、幅方向や長さ方向の継手の形状も確認できる方法であるため、試験を行った。

2) 製品含浸タイプ

2-1. 注入試験

注入試験は、乾燥単板積層材に難燃薬剤を減圧加圧法により注入した。

2-2. コーンカロリメータ発熱性試験

注入材発熱量などをコーンカロリメータ試験により評価した。

2-3. 模型箱発熱性試験

基本性能はコーンカロリメータ試験により評価できるため、模型箱試験は行わなかった。

3) 薬剤塗布タイプ

3-1 コーンカロリメータ発熱性試験

塗布材発熱量などをコーンカロリメータ試験により評価した。

3-2. 模型箱発熱性試験

大面積での塗布材の燃焼状況を把握するため、模型箱試験は行った。

3. 4 開発における各タイプのメリット・課題

1) 単板含浸タイプ

1-1. メリット

単板含浸タイプは、3mm程度の単板の内部に比較的簡単に難燃薬剤が注入できるため、積層後には内部まで均質な薬剤固定量が確保される。仮に薬剤固定量が少ない部分、たとえば節などが存在しても、大きく影響を及ぼさない。この均質性が、一番のメリットとなる。

1-2. 課題

内装材完成までの加工の順は、①単板の乾燥、②難燃薬剤の注入（減圧加圧、温冷浴など）、③単板の乾燥、④積層接着、⑤2次接着、⑥縦割切断、⑦本実加工である。このうち②では、割れやすいためハンドリングが難しいこと、③の乾燥が5倍時間がかかること、⑥の切断について、刃物への薬剤付着によりリップソーでは難しいことが掲げられる。

1-3. コスト

上記①から⑦までの工程では、②の注入にかかる薬剤費を除いた経費、③の単板乾燥、⑥の切断で帯鋸を使用することから、未注入材の製品完成時のコストと比較して、5倍程度になると予測される。

1-4 色調

単板に薬剤を注入し、その薬剤の性質から色調は茶系で、心材、辺材の差が少なく、単調な色調である。

2) 製品含浸タイプ

2-1. メリット

製品含浸タイプは、内装材完成までの加工の順で説明すると、①単板の乾燥、②積層接着、③ 2次接着、④縦割切断、⑤本実加工、⑥難燃薬剤の注入（減圧加圧）、⑦乾燥である。注入工程は内装材の形になってからであり、注入に関してハンドリングは良い。工場での作業は通常通りである。

2-2. 課題

内装材の形状で、無垢の板材と同様、長さ方向、厚さ方向の薬剤固定量の把握が必要である。固定量の分布を説明するために、材内部を細かく分けた溶脱試験など、多数の試験が必要と考えられる。また、⑦の乾燥後に変形や薬剤の析出があれば、再加工が必要である。

2-3. コスト

課題で記載した、薬剤固定量の把握がネックとなり、そのバラツキを説明できるまでの準備や管理にかかる経費と、本実形状での再加工の経費が上乘せされる。未注入材の製品完成時のコストと比較して、5倍程度になると予測される。

2-4. 色調

表面からも薬剤が注入できるため、その薬剤の性質から色調は茶系で、心材、辺材の差は少ない。

3) 表面塗布タイプ

3-1. メリット

薬剤塗布タイプは、内装材完成までの加工の順で説明すると、①単板の乾燥、②積層接着、③ 2 次接着、④縦割切断、⑤本実加工、⑥薬剤塗布である。注入工程はなく、表面を薬剤でコーティングするのみである。

3-2. 課題

表面を薬剤でコーティングするのみであるが、作業面で時間がかかり、また、厚さの管理が不十分であると準不燃基準を満足できない。また、現場で刷毛では塗布できないため、工場でコーティングする必要がある。

3-3. コスト

工場での作業が必要ではあるが、塗料費と作業費、また、その塗布量の管理費が上乘せされる。未塗装材の製品完成時のコストと比較して、3 倍程度になると予測される。

3-4. 色調

薬剤の性質から色調は透明感はあるものの、心材はこげ茶色、辺材は薄黄色で差は大きく、メリハリの利いた色調となる。

3. 5 開発 ① : 単板含浸タイプ

3. 5. 1 開発概要

単板含浸タイプは、3mm 程度の単板の内部に比較的簡単に難燃薬剤が注入できるため、積層後には内部まで均質な薬剤固定量が確保される。仮に薬剤固定量が少ない部分、たとえば節などが存在しても、大きく影響を及ぼさないと考えられる。

まず、少量生産に対応するために温冷浴法など簡易な設備により注入する方法と大量生産に対応するために大量の単板を減圧加圧により注入する方法を検討した。次に単板を積層するための接着剤の燃焼性能への影響を検討した。さらに単板注入による LVL 内装材を製造し、模型箱試験を行いその性能評価を行った。

3. 5. 2 少量生産用注入試験

少量生産用注入試験として、どのような方法が簡単に難燃薬剤を注入できるか確認するため、単板（400×500mm）に減圧加圧法、及び温冷浴法、乾燥単板に温冷浴法を行った。難燃薬剤は M 社製リン・チッソ系化合物である。表 3 に結果を示す。なお、薬剤固定量とは単板 1m³ 中に注入した薬剤の固形分重量のことを示す。

試験の結果、未乾燥単板に浸漬や減圧加圧、温冷浴では、薬剤を安定して固定できなかつた。乾燥単板に温冷浴の組み合わせで、バラツキの少ない薬剤固定量が確保できることが分かった。このため、少量生産でも高額な設備に頼ることなく注入ができることが判明した。

以下に詳細を記載する。

1) 試験体

- 樹種：スギ（心材）。
- 使用単板：生単板、乾燥単板
- 薬剤：M社製リン・チッソ系化合物。水との混合割合は1:1で使用。比重は1.12(30℃)。
- 浸透剤：作製薬剤量の0.5%で使用。
- サンプル数：3枚×3セットを各試験条件に用意。
- 試験体寸法：初期寸法3×500×500mmの単板を各工程で切り出す。行程を表1に示す。

加工はパネルソーで行い、乾燥（全乾、40℃乾燥）は恒温器で行った。

表3 試験体加工工程

部品番号	使用工程	寸法(mm)
0	初期状態	500×500
1	全乾法（105℃乾燥、24h）による初期含水率確認	500×100
2	部品1切り出し後、薬剤浸漬	500×400
3	全乾法による注入量確認	500×100
4	部品3切り出し後、（常温+40℃乾燥、24時間程度）	500×300
5	煮沸溶脱による注入量確認	300×100
6	煮沸溶脱による注入量確認	300×100
7	接着性能検査用	300×300

2) 試験条件

- 条件 A : 生単板 + 薬剤 + 浴槽浸漬。16.5 時間。
- 条件 B : 生単板 + 薬剤 + 浸透剤 + 浴槽浸漬。74.5 時間。
- 条件 C : 生単板 + 薬剤 + 浸透剤 + 浴槽浸漬。16.5 時間。
- 条件 D : 生単板 + 薬剤 + 減圧加圧注入機
(減圧 100torr 5 分 → 加圧 15kgf/cm² 1 時間 → 減圧 100torr 5 分)
- 条件 E : 生単板 + 薬剤 + 煮沸 (3 時間) + 常温浴槽浸漬 (24 時間)
- 条件 G : 乾燥単板 + 薬剤 + 浴槽浸漬 (72 時間) + 振動 (10 分)。
- 条件 H : 乾燥単板 + 薬剤 + 煮沸 (3 時間) + 常温浴槽浸漬 (38 時間)

3) 薬剤固定量

表 4 に試験条件ごとの煮沸溶脱による薬剤固定量を示す。

準不燃材料の薬剤固定量の目安は 150kg/m³ としたが、平均値、5%下限値とも目安の薬剤固定量を超えたのは、乾燥単板に煮沸、常温浸漬を行った試験条件 H であった。ただし、注入量に対する濃度計算や注入前後の全乾重量差による薬剤固定量では違いがあるため、今後データ数を増やして評価する必要がある。

また、生単板では単板の水分に拡散するように薬剤が入っているようであるが、部分的にどの程度固定されているかは不明である。このため、乾燥単板で注入を行う試験条件 H が適切と判断された。

表4 煮沸溶脱による薬剤固定量

サンプル	薬剤固定量(kg/m ³)						
	試験条件 A	試験条件 B	試験条件 C	試験条件 D	試験条件 E	試験条件 G	試験条件 H
1-1	74	97	117	79	181	64	164
1-2	63	90	132	38	170	64	169
1-3	57	95	125	60	158	64	170
2-1	61	88	128	45	169	69	176
2-2	61	96	120	68	158	65	172
2-3	58	89	100	61	164	66	165
3-1	54	95	95	40	148	69	166
3-2	63	80	92	59	140	70	156
3-3	67	109	103	54	151	71	165
平均	62	93	112	56	160	67	167
変動 係数%	9.7	8.6	13.6	24.1	8.0	4.1	3.4
5%下限値	49	76	80	27	132	61	155

注1：薬剤固定量目安 150kg/m³。

注2：変動係数は、標準偏差÷平均値×100 で計算した。

注3：5%下限値は、正規分布を仮定した。

4) 試験機及び試験体加工状況

- 試験体加工



図 3-①-1 試験用スギ単板 (左 : 部品 0、右 : 部品 1、2 切り出し)

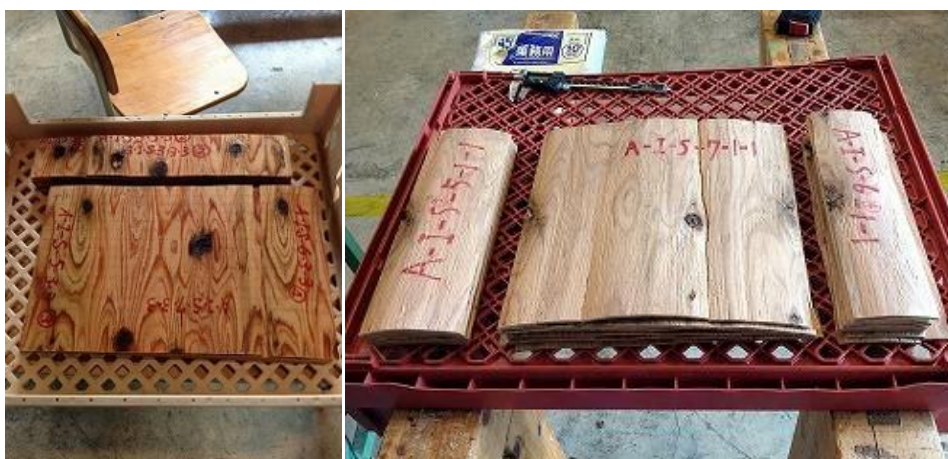


図 3-①-2 試験用スギ単板 (左 : 部品 3、4、右 : 部品 5、6、7 切り出し)

- 薬剤



図 3-①-3 薬剤 (左：薬剤 (ノンネン W-200)、右：浸透剤)



図 3-①-4 薬剤 (左：薬剤 (水混合後)、右：薬剤 (水+浸透剤))

● 試験機器



図 3-①-5 試験機器 (左：浴槽 (横型)、右：浴槽 (縦型))



図 3-①-6 試験機器 (左：温度計、比重計、右：減圧加圧試験機)



図 3-①-7 試験機器（左：煮沸、右：振動作業状況）



図 3-①-8 試験機器生コン用バイブレータ

● 試験風景

試験条件 A



図 3-①-9 左：浸漬風景 中：試験体（注入前） 右：試験体（注入後）

試験条件 B



図 3-①-10 左：浸漬風景 中：試験体（注入前） 右：試験体（注入後）

試験条件 C



図 3-①-11 左：浸漬風景 中：試験体（注入前） 右：試験体（注入後）

試験条件 D



図 3-①-12 左：浸漬風景 中：試験体（注入前） 右：試験体（注入後）

試験条件 E

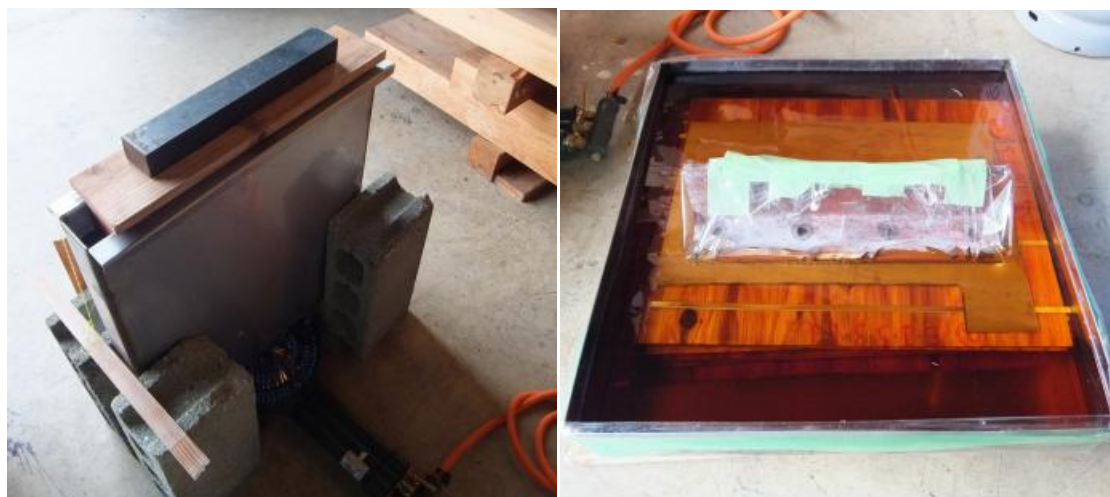


図 3-①-13 左：薬剂煮沸風景 右：常温浴槽浸漬



図 3-①-14 試験体（浸漬後）

試験条件 G



図 3-①-15 左：浸漬風景 右：試験体（浸漬前）



図 3-①-16 試験体（浸漬後）

試験条件 H



図 3-①-17 左：薬剂煮沸風景 右：常温浴槽浸漬



図 3-①-18 試験体（浸漬後）

3.5.3 大量生産用注入試験

少量生産用注入試験の結果及び大量生産への選択から、乾燥単板に減圧加圧を行う条件を大量生産用注入試験方法として採用した。

スギ乾燥単板寸法は、繊維方向が 1950mm、繊維直交方向が 1300mm であり、この寸法の単板が入る、直径 1200mm、奥行き 4000mm の圧力容器を用意した。乾燥単板に注入する試験条件は、減圧 0.098MPa で 60 分+薬剤注入後 60 分、加圧 5.0kgf/cm² で 60 分、さらに減圧 0.098MPa で 20 分行った。単板は積み重ねるように 110 枚入れて行った。薬剤注入条件は、薬剤は予備試験と同様である。注入状況を写真に示す。



図 3-①-19 左：注入前単板 右：単板の注入機積込



図 3-①-21 左：注入前の積み上げ状況 右：薬剤注入

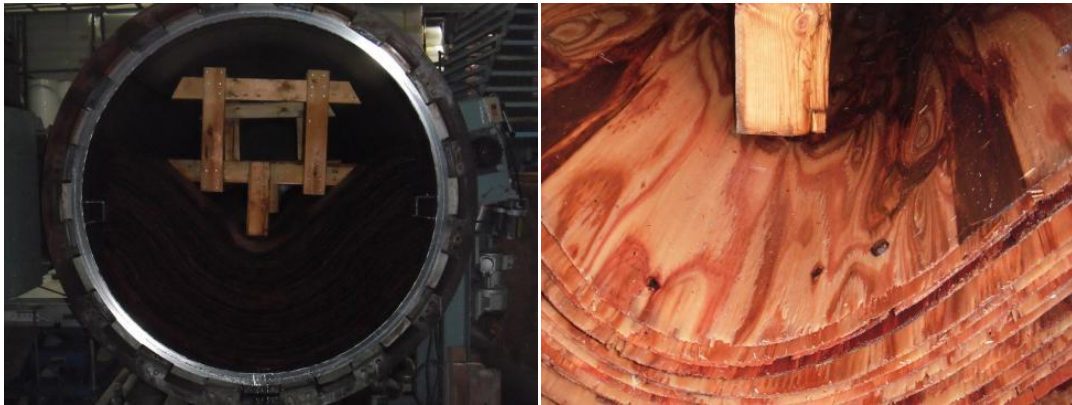


図 3-①-22 左：注入後の含浸状況① 右：注入後の含浸状況②

3回の注入回数の中で、一度に注入する単板 110枚のうち中心部、外側付近から10枚ずつ単板を抽出し、注入量を測定した結果を表5に示す。

注入試験では、平均で 160kg/m^3 の薬剤固定量が確保できたが、バラツキが大きく、5%下限値は 134kg/m^3 であった。なお、中心部の単板と外側の単板に注入量の差はみられなかった。

次にこの89枚の注入単板から10枚の単板を抜き取り、単板を100mm間隔ごとに切断し、煮沸を繰り返して薬剤を溶脱し、その重量減少から一枚の単板内の薬剤固定量分布を調べた。結果を図3-①-24から図3-①-33に示す。

薬剤固定量の少ない単板と多い単板を抽出してみたが、少ないものは単板の中での分布差が大きく、注入しやすい部分としにくい部分があるように見えた。薬剤固定量の多い単板は、ばらつきが少なく、部分的には差があるものの全体的に多く薬剤が固定されているようである。また、単板注入前後の重量差から推定した薬剤固定量と溶脱をして推定した薬剤固定量には 23 kg/m^3 から 46 kg/m^3 の差があり、薬剤が完全に溶脱しきれていないと考えられた。

表5 注入量測定結果

試験体 N = 89	薬剤固定量 kg/m^3
平均	160
最小値	107
最大値	191
変動係数%	14.8
5%下限値	134

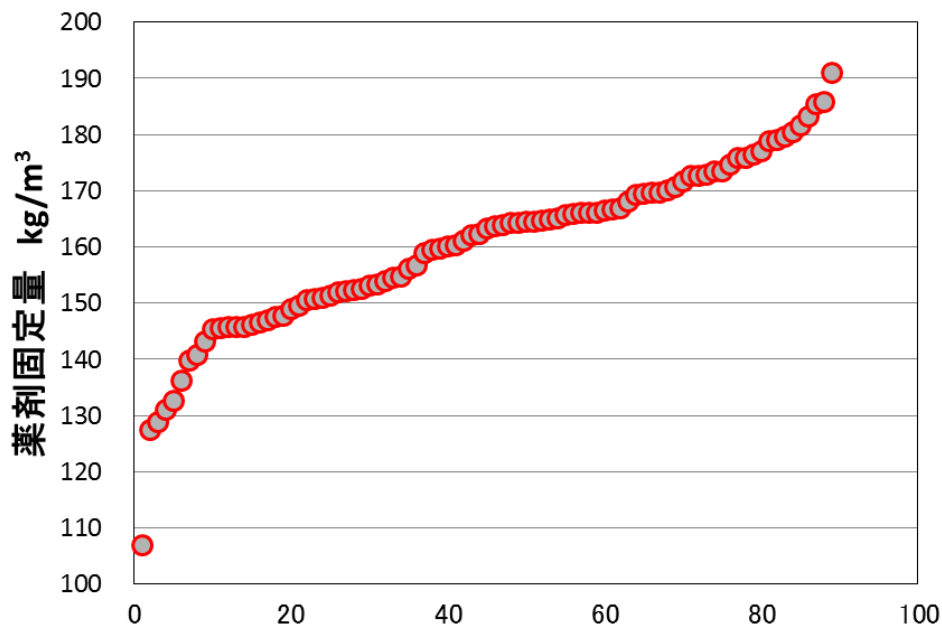


図 3-①-23 注入単板の薬剤固定量を昇順に並べた場合

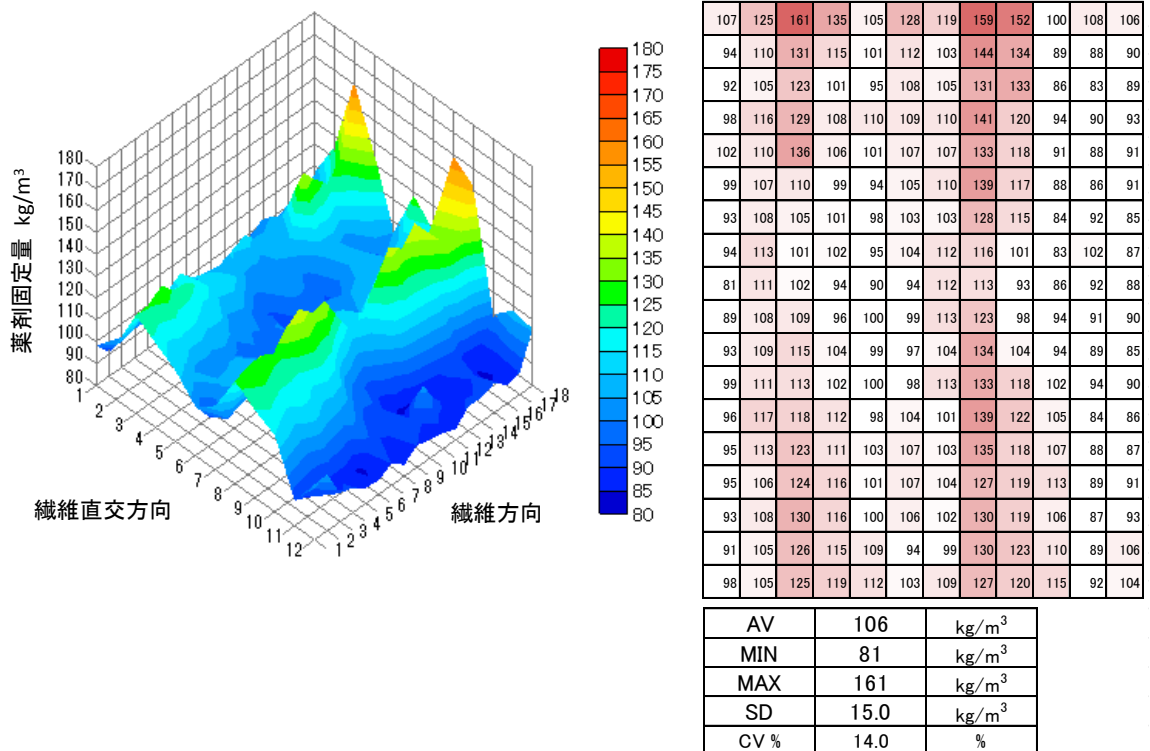


図 3-①-24 No.74 単板の薬剤固定量分布 (単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 129kg/m³ の場合)

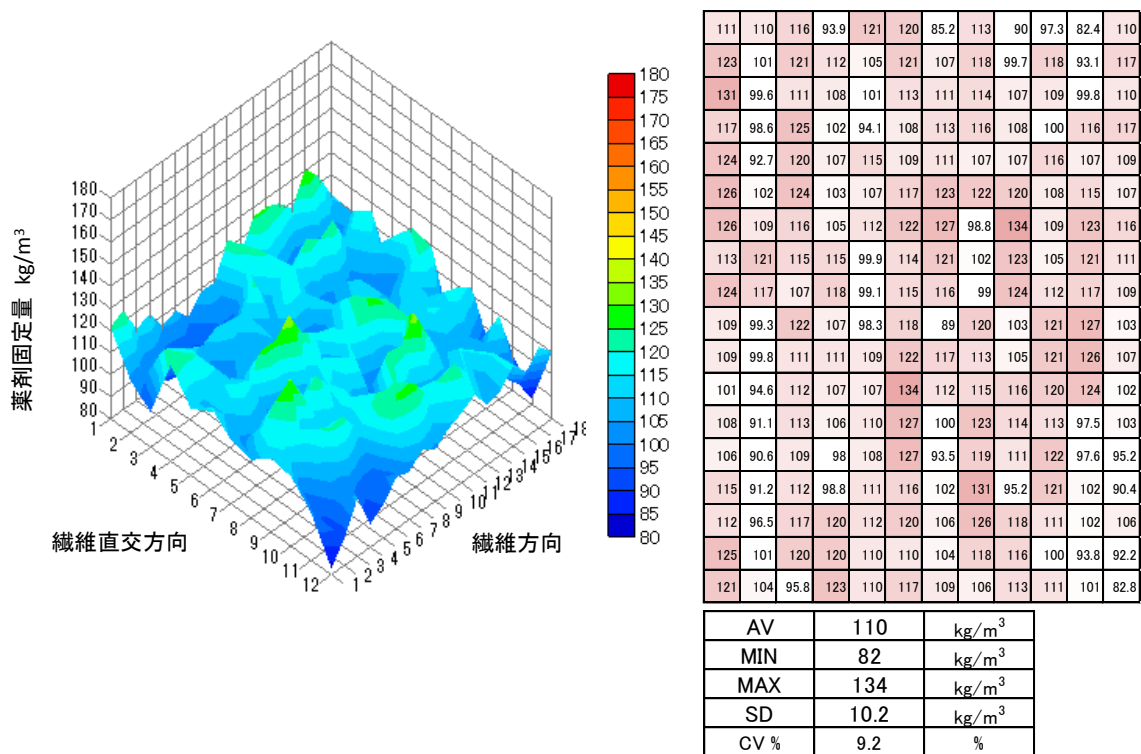
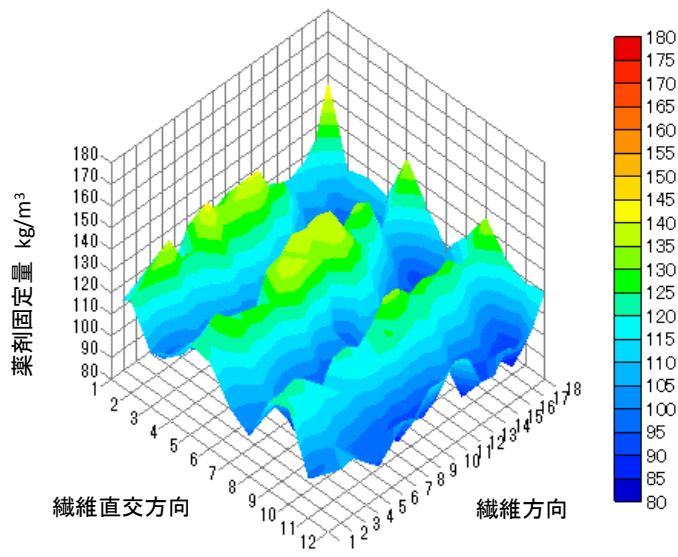


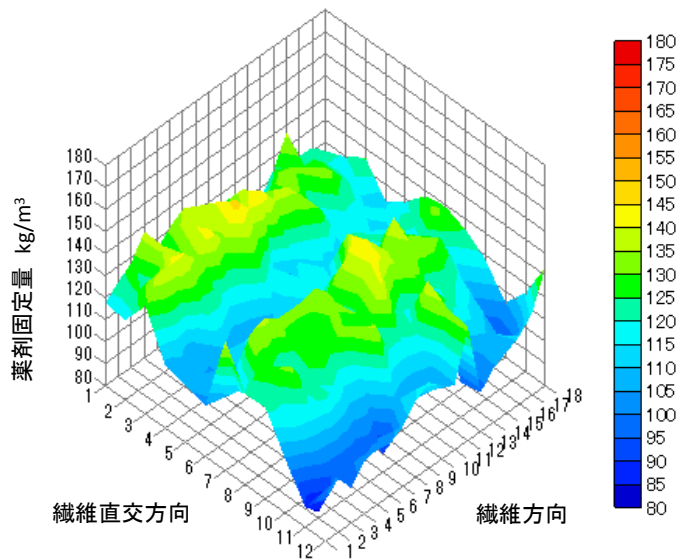
図 3-①-25 No.32 単板の薬剤固定量分布 (単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 146kg/m³ の場合)



148	113	116	113	137	121	109	120	136	123	118	120
124	102	86	90	124	91	87	106	124	100	83	107
117	107	86	91	113	98	93	100	122	101	90	102
115	100	96	107	129	110	90	97	129	111	95	107
116	112	97	98	133	117	94	103	126	115	89	98
120	128	96	91	127	123	106	100	128	113	86	99
94	128	116	104	138	133	118	103	125	120	102	115
123	142	112	102	140	140	119	103	132	118	93	118
128	140	119	104	138	129	80	97	132	120	89	113
125	135	120	93	139	134	108	95	123	126	91	113
129	133	115	101	133	139	103	93	118	120	86	104
126	143	124	93	131	139	114	88	121	118	95	107
114	126	113	88	113	127	107	87	120	112	97	100
110	126	106	99	113	130	106	79	110	115	99	94
120	139	108	100	122	126	110	94	119	114	100	99
117	133	99	109	128	130	114	104	123	117	105	106
113	127	98	106	122	117	106	102	121	117	99	105
117	122	105	109	122	120	105	98	121	124	98	107

AV	112	kg/m ³
MIN	79	kg/m ³
MAX	148	kg/m ³
SD	14.8	kg/m ³
CV %	13.2	%

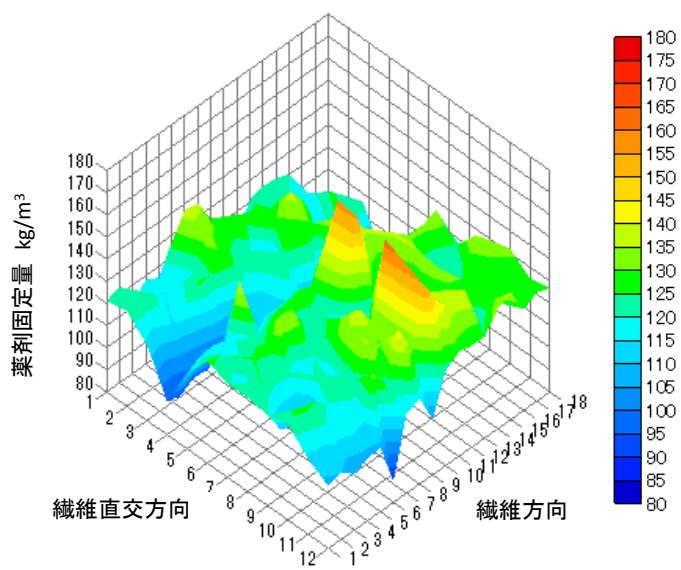
図 3-①-26 No10 単板の薬剂固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剂固定量 151kg/m³の場合)



112	120	126	113	118	128	129	125	118	105	116	134
122	120	118	110	119	121	131	117	105	95	99	118
122	126	126	119	109	120	116	130	119	111	103	111
137	126	133	119	118	121	129	134	123	116	110	108
124	132	120	117	121	117	141	133	118	121	104	105
116	133	130	130	108	110	129	132	129	127	95.9	97.6
108	127	137	121	114	135	139	137	118	140	134	132
125	132	135	114	118	116	144	143	125	121	107	109
125	138	144	93.6	117	117	136	134	141	118	104	113
125	123	140	120	118	110	128	120	128	119	104	119
131	141	148	129	111	115	134	134	103	136	108	115
135	136	134	119	106	115	132	127	133	112	88.4	107
131	139	143	116	105	114	132	126	125	111	97.9	103
125	127	134	123	102	119	132	126	130	118	95.2	105
137	137	140	123	109	114	137	120	122	122	96.1	104
127	120	141	107	105	107	134	125	132	118	95.6	95.9
123	126	138	112	105	108	112	128	121	115	82.6	104
118	116	129	108	106	103	139	121	122	104	89.1	99.5

AV	120	kg/m ³
MIN	83	kg/m ³
MAX	148	kg/m ³
SD	12.7	kg/m ³
CV %	10.6	%

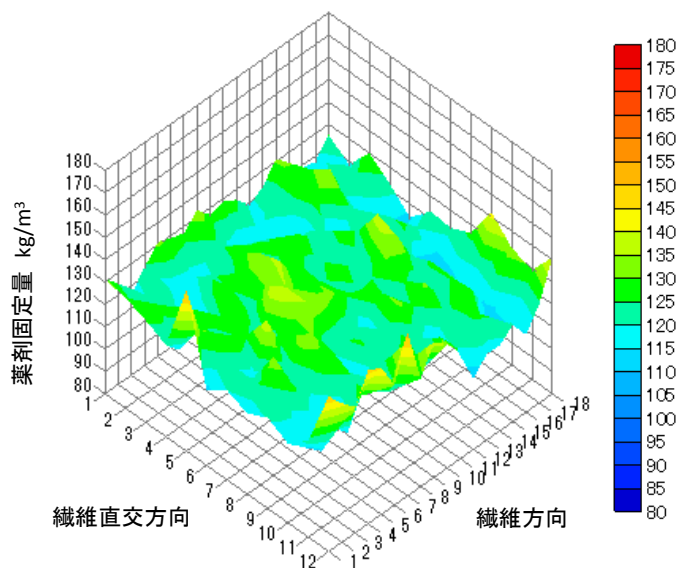
図 3-①-27 No31 単板の薬剂固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剂固定量 151kg/m³の場合)



84.6	91.3	87.2	83.2	76.8	99	121	114	90.2	132	125	127
69.6	75.9	80.1	81.1	75.4	76.5	134	125	136	127	126	129
73.4	77.4	81.5	123	104	87.7	132	121	125	130	127	126
120	118	125	124	103	119	131	120	121	128	127	138
122	119	116	125	124	117	136	135	134	127	120	134
123	124	129	118	136	136	127	119	122	117	141	126
122	124	138	129	95.2	137	130	118	128	138	136	126
109	128	130	128	115	157	156	119	141	142	144	127
107	129	89.5	125	110	142	140	114	163	159	154	123
125	126	123	121	118	127	118	123	130	131	129	105
136	129	123	114	110	128	123	129	140	130	143	119
137	132	129	107	115	127	123	125	134	136	124	116
127	120	125	101	110	126	135	120	118	123	131	89.6
115	118	126	98.6	139	121	134	114	122	122	117	109
118	115	120	96.5	117	123	126	121	107	120	119	108
111	122	114	97	118	119	126	121	108	125	117	105
123	124	110	93.1	118	125	116	125	110	127	115	110
121	123	114	95	114	126	122	122	121	124	114	108

AV	120	kg/m ³
MIN	70	kg/m ³
MAX	163	kg/m ³
SD	15.9	kg/m ³
CV%	13.3	%

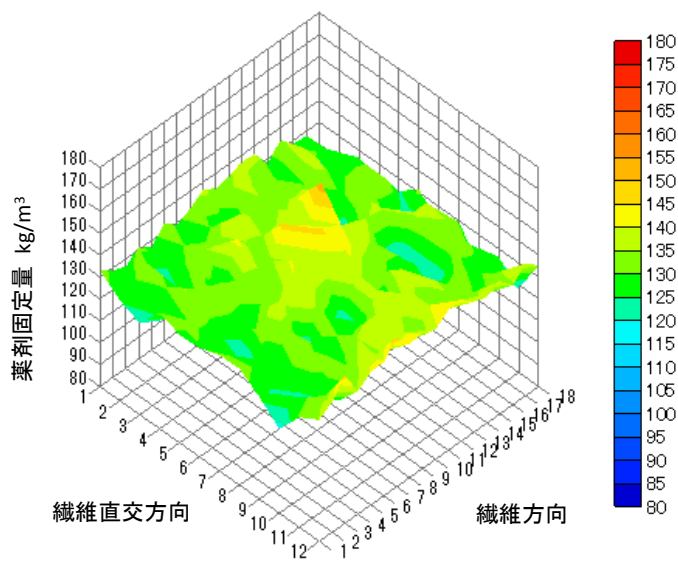
図 3-①-28 No47 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 161kg/m³の場合)



125	118	130	123	114	123	122	126	142	132	129	141
117	122	124	120	113	120	114	120	119	126	118	124
119	116	121	116	123	126	108	107	118	114	116	115
115	129	135	124	118	119	122	126	125	126	106	123
131	128	129	106	124	139	135	122	122	127	126	118
123	123	117	122	128	122	131	126	131	124	123	119
119	120	116	124	120	124	125	120	125	116	121	112
125	119	116	129	124	128	124	129	131	121	128	128
129	115	124	127	125	125	125	116	122	126	119	135
127	118	126	123	126	129	131	122	121	124	128	140
133	124	127	133	136	128	134	122	126	121	136	128
127	120	121	129	130	135	135	122	117	120	120	153
129	118	124	125	122	139	128	130	129	124	125	134
131	115	119	127	129	122	125	131	126	120	127	146
124	122	117	116	127	126	139	121	121	116	114	149
116	121	122	129	124	130	118	133	126	118	120	136
125	121	129	115	130	123	122	125	121	119	114	142
131	129	126	121	152	114	120	116	121	115	123	149

AV	125	kg/m ³
MIN	106	kg/m ³
MAX	153	kg/m ³
SD	7.6	kg/m ³
CV%	6.1	%

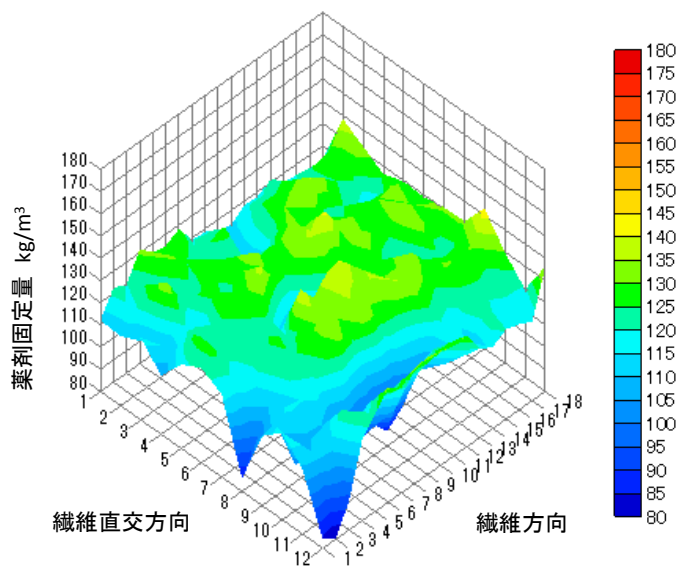
図 3-①-29 No33 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 166kg/m³の場合)



107	120	127	123	124	132	122	129	116	126	118	135
128	128	126	134	134	122	136	135	131	129	126	140
128	131	126	133	133	111	136	133	132	127	133	134
134	138	137	129	134	136	122	122	123	133	128	141
128	127	131	127	123	135	121	128	125	130	132	137
136	131	132	140	127	138	134	127	124	137	133	139
137	131	131	141	153	140	136	132	139	133	133	145
134	137	133	137	138	143	141	132	128	138	140	144
133	130	132	135	142	147	136	138	138	138	129	139
137	128	139	135	147	135	136	121	127	140	136	142
132	130	140	134	134	140	137	128	127	139	139	141
129	128	133	142	135	133	140	134	130	135	134	148
134	130	134	124	134	131	136	119	128	129	138	141
127	127	131	129	133	126	137	133	131	131	131	141
131	120	126	131	133	127	131	128	132	129	125	136
126	135	130	135	131	125	121	128	127	124	132	148
129	128	128	126	131	127	129	130	124	128	131	139
133	126	122	133	129	130	133	133	127	118	130	135

AV	132	kg/m ³
MIN	107	kg/m ³
MAX	153	kg/m ³
SD	6.5	kg/m ³
CV%	4.9	%

図 3-①-30 No.20 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 167kg/m³の場合)



114	138	132	127	130	129	131	131	143	130	120	136
113	128	128	114	131	130	126	124	130	123	119	115
111	127	125	119	130	134	133	123	129	125	115	119
116	121	131	125	128	127	118	126	131	123	124	120
121	128	135	118	130	130	120	133	126	118	111	117
118	126	133	128	131	134	128	130	131	120	117	120
118	126	130	128	141	125	126	130	135	109	111	130
113	119	122	133	136	127	133	136	129	105	121	130
115	110	103	129	133	120	140	132	128	91.7	117	131
119	127	118	128	125	107	138	136	132	86.6	115	133
119	125	120	133	128	107	132	132	124	93.9	107	132
128	122	127	128	137	114	140	131	131	91.9	116	127
125	125	128	123	129	125	122	129	125	99	118	132
126	131	123	127	129	121	127	124	119	103	113	124
131	124	122	115	124	124	122	123	115	110	123	116
120	126	134	119	123	121	119	110	116	109	113	92.9
123	118	110	114	126	126	118	98.1	113	101	112	80.3
112	111	117	106	118	123	117	85.8	111	119	109	84.1

AV	122	kg/m ³
MIN	80	kg/m ³
MAX	143	kg/m ³
SD	10.7	kg/m ³
CV%	8.8	%

図 3-①-31 No.50 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 168kg/m³の場合)

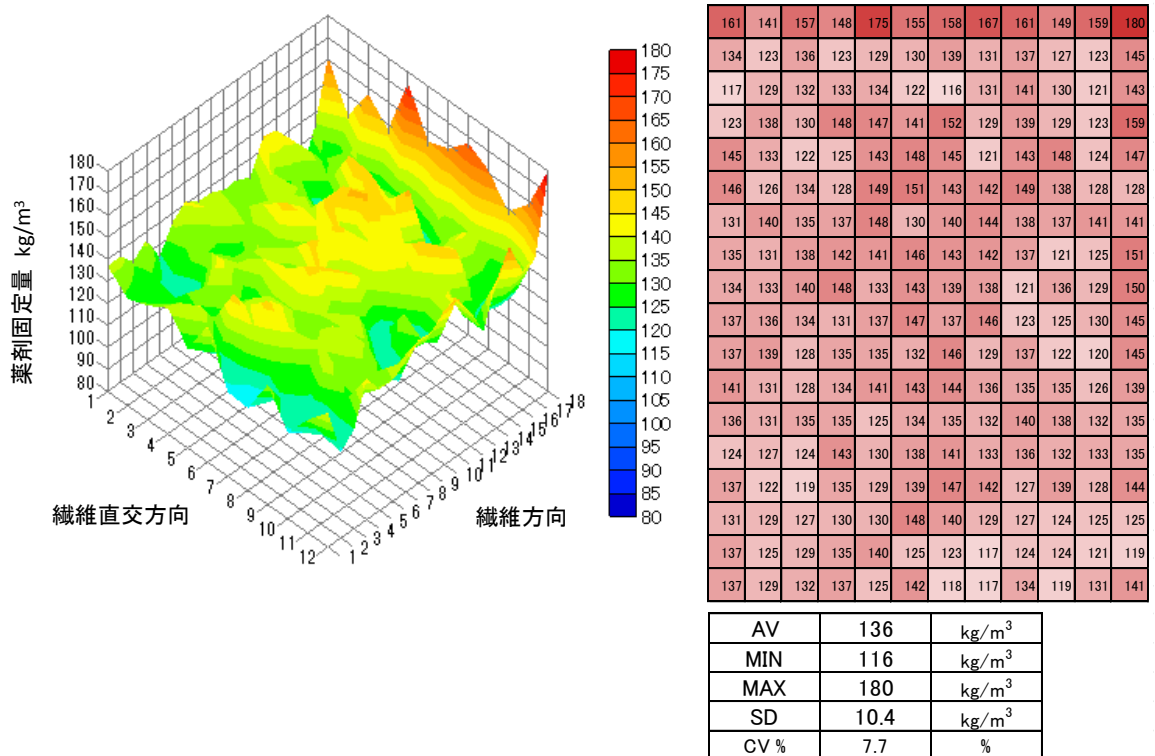


図 3-①-32 No48 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 169kg/m³の場合)

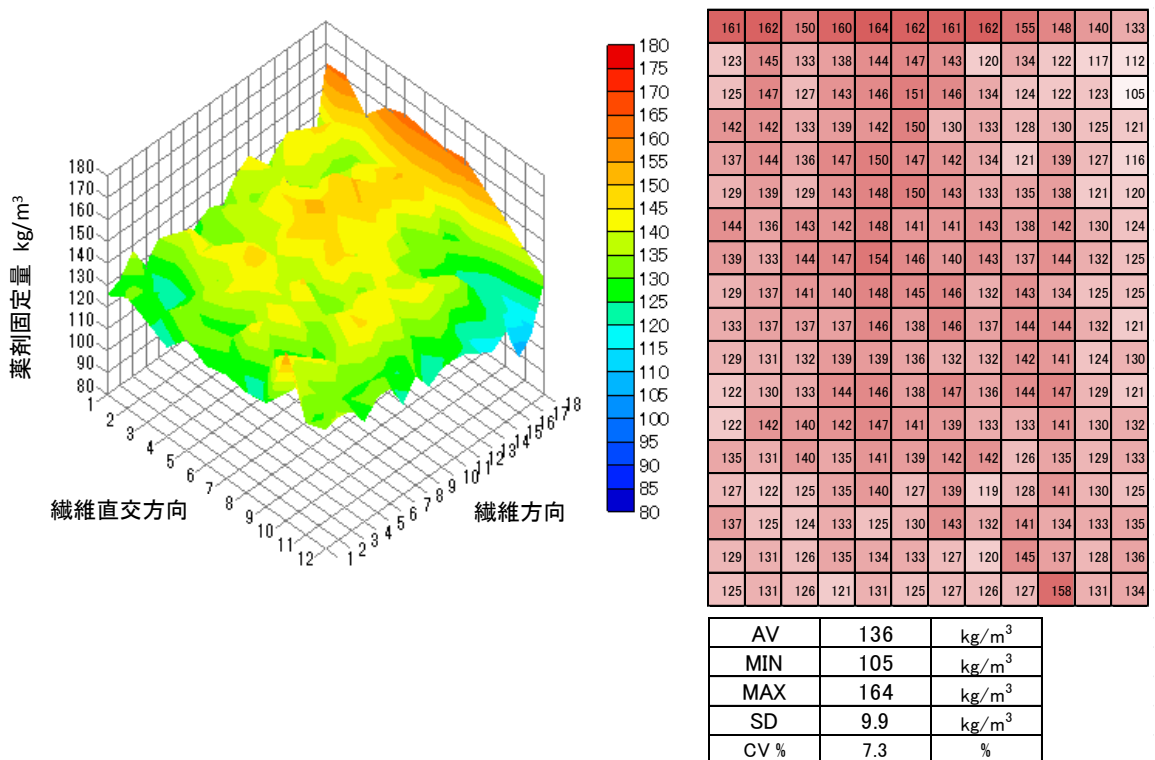


図 3-①-33 No65 単板の薬剤固定量分布(単板注入前後重量差から推定薬剤固定量 179kg/m³の場合)

3.5.4. 単板接着性能試験

薬剤注入された単板による LVL は、内装用としてもある程度接着性能を確保する必要がある。そこで、3-2-2. 少量生産用注入試験に使用した単板について、合板の接着性能試験方法で常態引張り試験、合板 JAS 特類減圧加圧後引張り試験及び単板積層材（構造用）JAS 減圧加圧はくり試験を行った。表 6 から表 8 にその結果を示す。

どの試験結果も基準値に適合しており、内装材としての接着性能は確保していると考えられた。なお、研究開始初期に注入された単板を使用したため、ブロックせん断試験が出来なかったため、今後試験を行い、せん断強度性能を評価する予定である。

表 6 常態引張り試験結果

試験片		1	2	3	4	平均
7-1-1・2・3	Mpa	1.46	1.33	1.43	1.57	1.45
	材破率	100	100	100	100	100
7-2-1・2・3	Mpa	0.89	1.55	0.75	1.02	1.05
	材破率	100	100	100	100	100

表 7 合板 JAS 特類減圧加圧後引張り試験結果

試験片		1	2	3	4	平均	≥60	≥30
7-1-1・2・3	Mpa	1.54	1.46	1.60	1.83	1.61	100	100
	材破率	100	100	100	100	100		
7-2-1・2・3	Mpa	1.63	1.76	2.04	1.71	1.79	100	100
	材破率	100	100	100	100	100		

表 8 単板積層材（構造用）JAS 減圧加圧試験

試験体	層	1				率	2				率	3				率	4				率	合計
7-1-1・2・3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
7-2-1・2・3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

3.5.5 コーンカロリメーター発熱性試験

準不燃化を目的とする LVL 内装材は、単板に薬剤が固定できても、積層のための接着剤が燃焼性能に影響していたのでは目標達成が難しくなる。そのため接着剤の燃焼特性を調べることにした。

1) 炭化範囲の接着剤量の推定

LVL 内装材の表面は、単板の側面（約 3mm）が見える仕様である。このため、コーンカロリメーター試験における表面の接着剤の面積と推定炭化深さにより接着剤量を算出した。LVL コーンカロリメーター試験体の表面をスキャナにより画像を読み取り、画像上の接着剤部分を黒く塗りつぶして、約 4700×4700pixels、6.2Mb、JPG 形式で保存した（図 3-①-34）。この画像について、接着層の情報を得るため、画像処理を行った。ソフトウェアについては、アメリカ国立衛生研究所（National Institutes of Health：NIH）の国立精神衛生研究所（National Institute of Mental Health：NIMH）、研究支援部門（Research Services Branch：RSB）が開発した、Macintosh 上で動く画像処理解析パブリックドメインソフトウェア「NIH Image」（以下 Image/J）を使用した。

画像処理について、まず Image/J を起動し図 3-①-34 の画像ファイルを開き二値化した（図 3-①-35）。次に Analyze メニューから Set Scale ウィンドウで 1 辺の寸法を入力し、スケールとして 1mm あたりのピクセル数を決定した。さらに Analyze メニューから所定の測定値の設定と粒子の解析設定を行うと、接着層に関する情報が得られた。

Image/J で得た割れ情報は、そのまま解析には用いにくいため、解析評価用のエクセル計

算シートを作成し、接着層の面積や幅などを分かりやすく表示させた（表 9）。なお、画像処理は1試験体で行った。



図 3-①-34 スキャナで読み取った画像

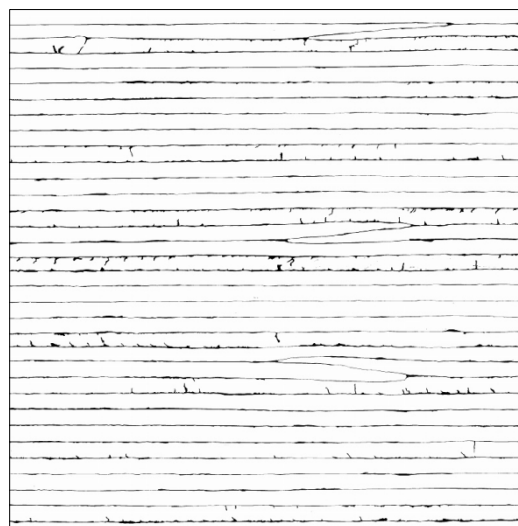
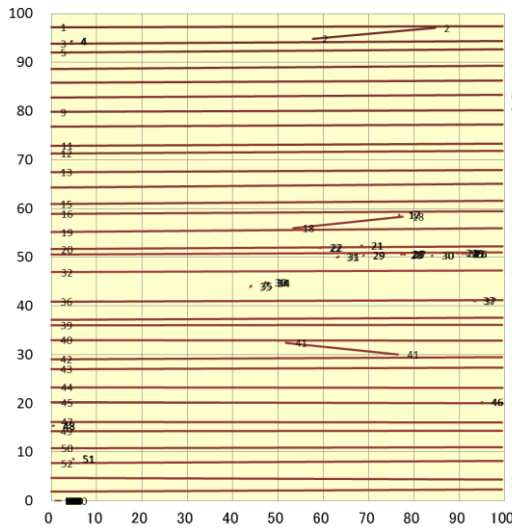


図 3-①-35 Image/Jにより二値化した画像

表9 エクセル計算シートによる接着層の情報

S32232接着層 加工.jpg における割れデータまとめ				縦= 99.5 mm, 横= 99.5 mm						
S32232接着層 加工.jpg	選択箇所数	長さ計 mm	幅計 mm	接着層面積 mm ²	接着層面積割合 %	長軸角度平均度	円形性平均 0.0~1.0	縦横比平均 短辺/長辺		
合計	54	3362.7	45.9	456.3	4.61	59.2	0.18	0.10		
※1.0が完全な円										
抽出条件	選択割れ箇所No	長さ mm	幅 mm	面積 mm ²	接着層面積割合 %	推定起点位置 x座標 mm y座標 mm	推定終点位置 x座標 mm y座標 mm	長軸角度度	円形性 0.0~1.0	縦横比 短辺/長辺
面積最大	23	99.5	1.9	21.0	0.21	99.5 50.9	0.0 92.0	50.5	0.3	0.3
長さ最大	5	99.5	1.8	16.7	0.17	99.5 92.7	0.0 92.0	0.0	0.0	0.4
幅最大	38	99.5	2.5	12.6	0.13	99.5 37.6	0.0 37.2	0.0	0.0	0.3
行No	No	長さ mm	幅 mm	面積 mm ²	接着層面積割合 %	推定起点位置 x座標 mm y座標 mm	推定終点位置 x座標 mm y座標 mm	長軸角度度	円形性 0.0~1.0	縦横比 短辺/長辺
1	1	99.5	0.614	10.933	99.5	97.4	0.0 97.2	0.1	0.00	0.00
2	2	27.0	0.416	2.600	84.6	97.0	57.7 94.8	4.8	0.01	0.01
3	3	99.4	1.990	15.708	99.5	94.4	0.0 93.8	0.3	0.00	0.01
4	4	0.3	0.084	0.009	4.6	94.4	4.3 94.3	24.4	0.36	0.25
5	5	99.5	1.787	16.897	99.5	92.7	0.0 92.0	0.4	0.00	0.01
6	6	99.5	0.547	9.876	99.5	89.3	0.0 86.7	0.4	0.00	0.00
7	7	99.5	0.741	14.357	99.5	89.2	0.0 85.8	0.2	0.00	0.00
8	8	99.4	0.828	16.504	99.4	83.4	0.0 82.7	0.4	0.01	0.00
9	9	99.5	0.877	10.882	99.5	80.2	0.0 79.8	0.2	0.00	0.00
10	10	99.5	0.877	10.843	99.5	77.3	0.0 76.8	0.2	0.00	0.00
11	11	99.4	2.268	12.458	99.4	73.3	0.0 72.9	0.2	0.00	0.01
12	12	99.5	1.911	17.201	99.5	71.8	0.0 71.3	0.3	0.01	0.01
13	13	99.5	0.647	8.887	99.5	67.9	0.0 67.4	0.3	0.00	0.00
14	14	99.4	0.615	9.211	99.4	65.1	0.0 64.3	0.4	0.00	0.00
15	15	99.5	1.567	18.974	99.5	61.6	0.0 60.9	0.4	0.00	0.01
16	16	99.5	1.969	17.514	99.5	59.4	0.0 58.9	0.3	0.00	0.01
17	17	0.2	0.080	0.007	76.7	58.7	76.8 58.7	156.8	0.59	0.48
18	18	24.3	0.510	2.707	77.5	58.4	53.3 56.0	5.7	0.01	0.01
19	19	99.4	1.048	16.326	99.5	56.0	0.0 55.1	0.5	0.01	0.01
20	20	99.5	2.425	20.870	99.5	52.3	0.0 51.6	0.4	0.01	0.01
21	21	0.2	0.064	0.005	68.5	52.4	68.4 52.3	23.2	0.60	0.33
22	22	0.3	0.072	0.013	59.6	52.0	59.2 51.9	14.0	0.28	0.14
23	23	99.5	1.919	20.982	99.5	50.9	0.0 50.5	0.3	0.01	0.01
24	24	0.4	0.112	0.028	89.3	50.9	89.7 50.8	165.3	0.44	0.22
25	25	0.2	0.085	0.010	90.5	50.8	90.7 50.7	161.6	0.60	0.37
26	26	0.1	0.064	0.005	91.3	50.7	91.4 50.6	161.6	0.72	0.44
27	27	0.4	0.076	0.020	77.7	50.6	78.0 50.6	170.5	0.37	0.16
28	28	0.4	0.090	0.020	77.5	50.6	77.1 50.5	155.5	0.33	0.17
29	29	0.1	0.085	0.006	68.9	50.5	68.8 50.4	38.7	0.81	0.56
30	30	0.1	0.064	0.005	84.0	50.4	84.1 50.3	149.0	0.97	0.61
31	31	0.4	0.064	0.013	63.4	50.1	63.0 50.0	19.4	0.25	0.12
32	32	99.4	0.529	8.135	99.4	47.3	0.0 46.9	0.2	0.00	0.00
33	33	0.4	0.064	0.017	47.1	44.8	47.5 44.8	177.0	0.29	0.13
34	34	0.3	0.042	0.010	47.7	44.7	48.0 44.7	170.5	0.41	0.17
35	35	99.4	0.466	4.737	99.4	44.1	0.0 43.9	0.1	0.00	0.00
36	36	99.5	0.593	8.777	99.5	41.2	0.0 40.9	0.2	0.00	0.00
37	37	0.3	0.110	0.016	93.1	41.1	93.4 41.0	162.9	0.48	0.32
38	38	99.5	2.471	12.648	99.5	37.6	0.0 37.2	0.3	0.00	0.01
39	39	99.5	2.244	19.317	99.5	36.1	0.0 36.0	0.0	0.01	0.01
40	40	99.5	1.313	12.737	0.0	33.0	99.5 32.8	179.9	0.00	0.01
41	41	24.8	0.692	1.748	51.8	32.4	76.4 30.1	174.6	0.01	0.02
42	42	99.5	1.482	13.110	99.5	29.5	0.0 29.0	0.3	0.00	0.01
43	43	99.5	2.350	18.354	99.5	27.3	0.0 27.1	0.1	0.00	0.01
44	44	99.5	0.931	15.771	0.0	23.3	99.5 23.2	179.9	0.01	0.00
45	45	99.5	0.656	13.365	0.0	20.2	99.5 20.0	179.9	0.00	0.00
46	46	0.2	0.042	0.006	94.9	20.3	95.0 20.2	164.1	0.72	0.29
47	47	99.4	2.348	11.746	0.0	16.2	99.5 16.0	179.9	0.00	0.01
48	48	0.2	0.042	0.005	0.4	15.4	0.5 15.3	164.1	0.62	0.30
49	49	99.5	1.503	13.084	99.5	14.4	0.0 14.3	0.1	0.00	0.01
50	50	99.4	0.614	7.663	99.5	11.0	0.0 10.8	0.1	0.00	0.00
51	51	0.2	0.042	0.007	4.8	8.6	4.9 8.6	166.0	0.65	0.25
52	52	99.4	0.635	10.467	99.5	8.1	0.0 7.7	0.3	0.00	0.00
53	53	99.4	1.249	10.260	0.0	4.6	99.4 4.3	179.8	0.00	0.00
54	54	99.4	1.4	20.3	99.4	2.3	0.0 1.9	0.3	0.01	0.01



次に、燃焼後の炭化層深さを測定するため試験体を4分割し、3断面をスキャナで読み取った(図3-①-36)。その後Image/Jで二値化(図3-①-37)して表面と同様に画像評価を行った。

3面の炭化層深さ平均値は11.02mmで、表10の接着層面積456.3mm²であることから、コーンカロリメーター試験で燃焼した接着剤は5.03cm³と推定された。

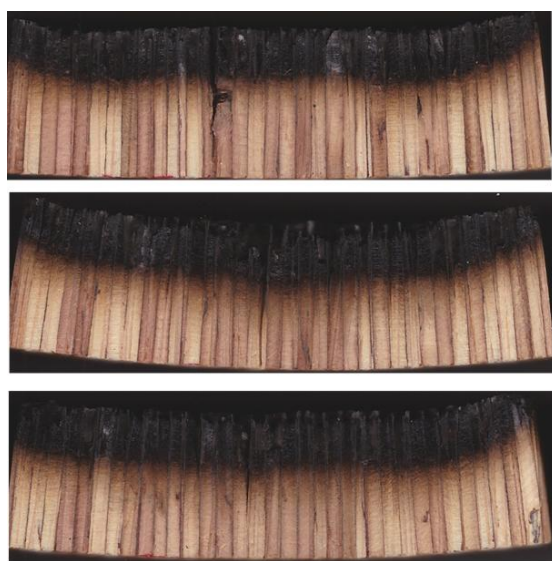


図3-①-36 燃焼試験後の炭化層



図3-①-37 Image/Jにより二値化した画像

2) 接着剤の燃焼試験結果

コーンカロリメーター試験により接着剤のみを燃焼した結果を図3-①-37に示す。塗布時の重量はすべて2.5gであった。

燃焼試験の結果、フェノール樹脂は発熱量が低かった。メラミンと水性高分子イソシアネート樹脂は同程度、レゾルシノール樹脂の発熱量は大きく差があった。

接着剤ごとの推定発熱量を表10に示す。図3-①-37から発熱量の高い値をその接着剤の発熱量とし、比重を1.4と仮定して、推定接着剤量5.03cm³の重量から、コーンカロリメーター試験における接着剤の発熱量を推定した。

フェノール樹脂では、推定発熱量は約 2MJ/m² であり薬剤注入量が多めに確保できれば、準不燃規準をクリアできる可能性があることが分かった。メラミンと水性高分子イソシアネート樹脂は薬剤を大量に注入しなければ(200kg/m³程度)、準不燃規準をクリアすることが難しそうである。また、レゾルシノール樹脂は、試験結果のバラツキが大きいため、必要であれば試験を追加する必要があるが、全体的に発熱量が高ければ、準不燃規準はクリアできない可能性があると考えられた。

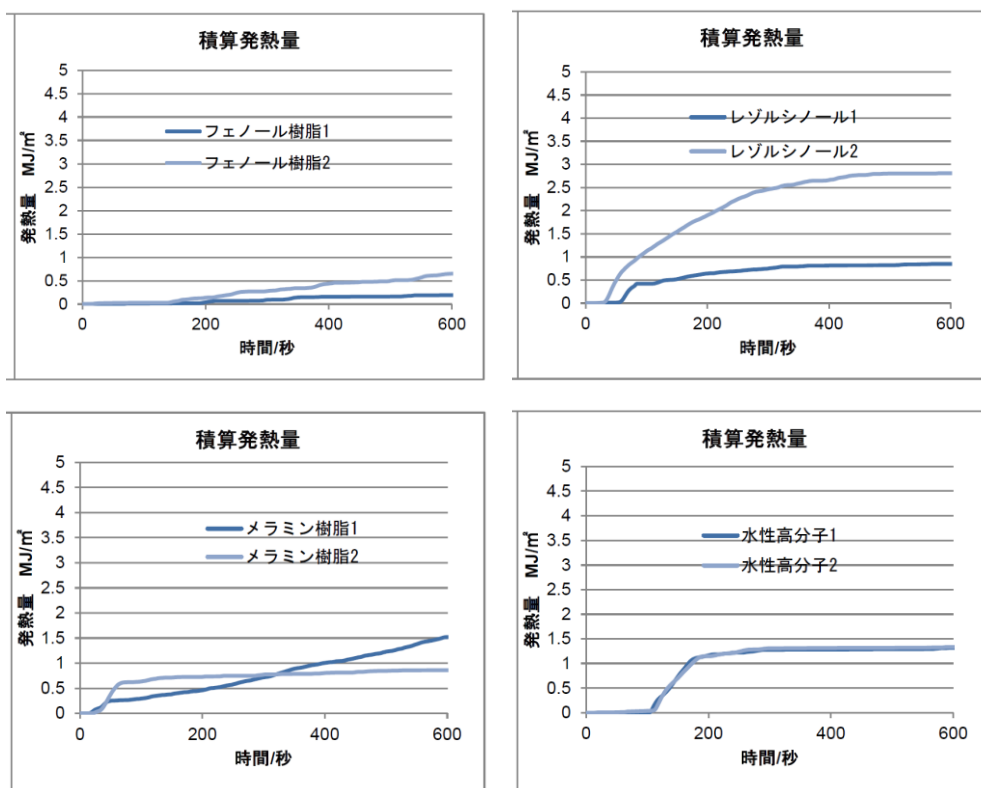


図 3-①-37 接着剤燃焼試験結果

表 10 接着剤別の推定発熱量

接着剤種	2.5g燃焼 発熱量 MJ/m ²	推定比重	燃焼接着剤量		推定 発熱量 MJ/m ²
			cm ³	g	
フェノール	0.7	1.4	5.03	7.04	1.97
レゾ	2.8	1.4	5.03	7.04	7.89
メラミン	1.5	1.4	5.03	7.04	4.23
水ビ	1.3	1.4	5.03	7.04	3.66

3.5.6 模型箱発熱性試験

模型箱試験は、内寸幅 840mm、長さ 1680mm、高さ 840mm の試験体で行うが、節の影響を実寸で確認できるため、木材の準不燃化確認試験には適当であると考えられる。また、燃え抜けに関して、幅方向や長さ方向の継手の形状も確認できる方法であるため、模型箱試験を採用した。

1) 模型箱試験材の製造

単板注入試験と同じ条件で単板に同じ薬剤を注入した。薬剤固定量は、抽出した単板 89 枚あたりの平均で 160kg/m^3 、最小値は 107 kg/m^3 、最大値は 191 kg/m^3 であった。単板乾燥は 5 回と多くなったものの通常の LVL 製造工程で LVL を製造した。さらに帯鋸で縦割りをして 2 次接着を行い、働き幅 140mm、厚さ 30mm、長さ 2100mm、本実形状は凸部について下幅 11mm、上幅 5mm、高さ 9mm の台形状に加工した。次に加工の写真を示す。



図 3-①-38 加工前の LVL



図 3-①-39 モルダー本実加工



図 3-①-40 モルダー加工後



図 3-①-41 幅方向につないだ状態



図 3-①-42 本実形状



図 3-①-43 節の状況（裏に抜けてはいない）

模型箱試験の材は、箱の奥側は、内装材を横方向に積み上げた状態で 6 枚配置した。同様に側面の長い方向に対しても 6 枚積み上げた。天井についても 6 枚を幅方向につないだ仕様であった。なお、各面とも中央部分でバットジョイントとした。試験前の状況を示す。



図 3-①-44 単板注入 LVL 試験体全景



図 3-①-45 単板注入 LVL 試験体内部

2) 模型箱試験

試験は 20 分間行い、燃焼状況を観察した。火炎は徐々には広がったものの、急激な進展はなかった。また、試験終了後は自消した。開口上部から、煙は 15 分ぐらいまで多少流出したものの、その量は少なかった。試験の状況を写真に示す。



図 3-①-46 模型箱試験状況



図 3-①-47 内部の燃焼状況



図 3-①-48 試験終了後の状況

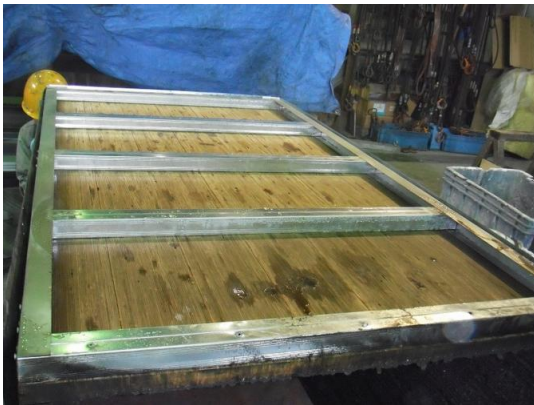


図 3-①-49 天井部燃え抜けなし

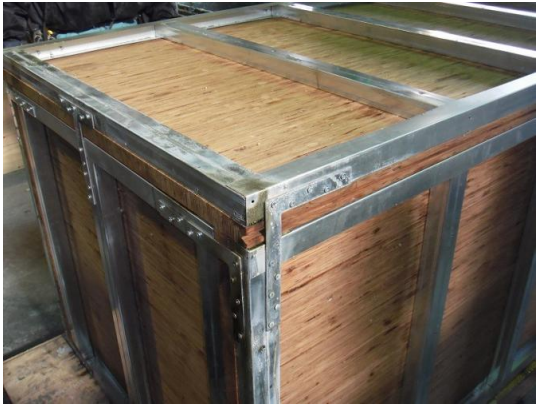


図 3-①-50 火源上部燃え抜けなし



図 3-①-51 内部炭化状況

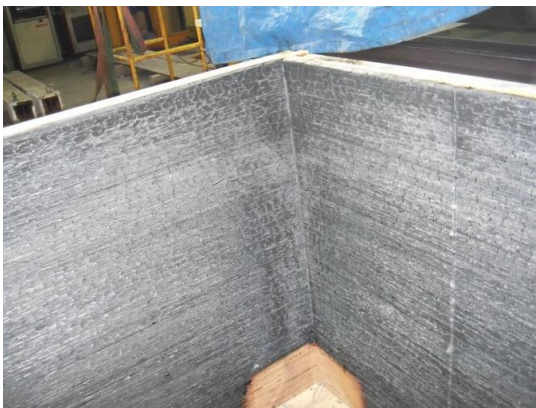


図 3-①-52 火源上部炭化状況



図 3-①-53 解体状況 (右上四角部分火源)

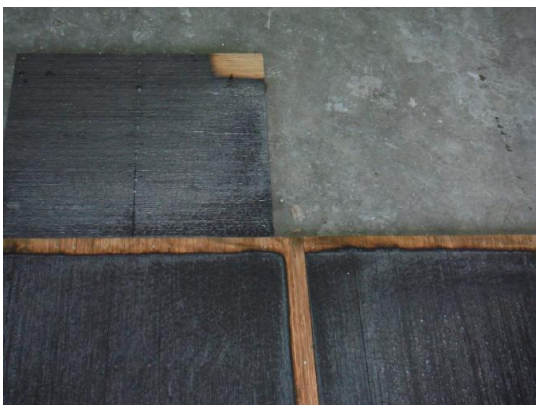


図 3-①-54 解体状況 (右上四角部分拡大)



図 3-①-55 火源上部の炭化層厚さ

3) 試験結果と考察

総発熱量は、5分後で14.1MJ、10分後で31.1MJ、20分後で73.3MJであった。最高発熱速度は、5分後で55.7kW、10分後で61.8kW、20分後82.1kWであり特に発熱速度が低い傾向であることが分かった。また、防火上有害な変形はなかった。箱内温度も急激な上昇はなかった（図3-①-56、図3-①-57参照）。以上の結果から、加熱開始後10分間での準不燃の基準には十分適合していた。

なお、火源上部の材の炭化層の厚さは15mm程度であり、燃え抜けることはなかった（写真参照）。

現在では当試験に不燃基準は無いが、仮に20分で50MJを超えないことを基準とした場合、総発熱量は約15分で50MJを超えたため、薬剤固定量を増やせば、不燃基準に適合する可能性があることが示唆された。

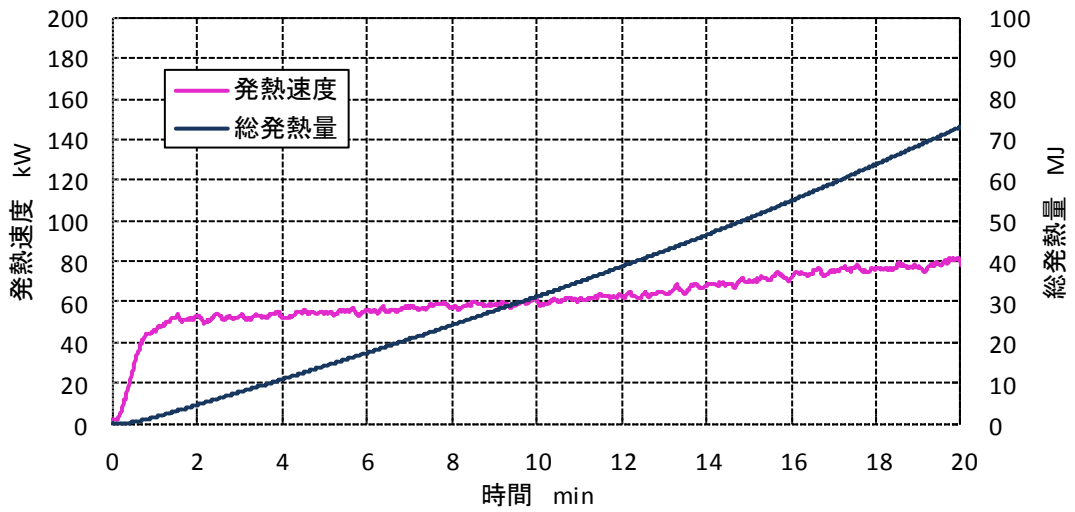


図 3-①-56 発熱速度及び総発熱量

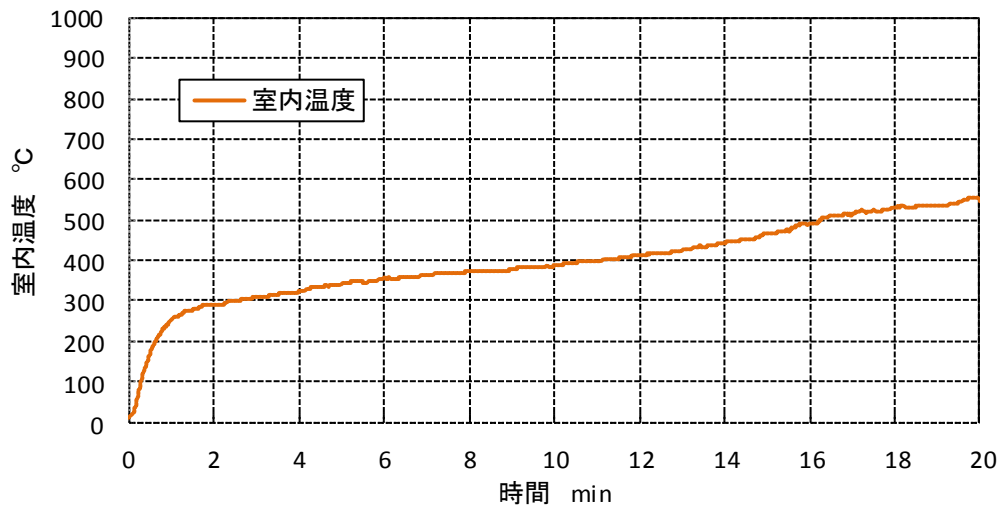


図 3-①-57 箱内温度

3.5.7. 今後の課題

単板含浸タイプは、単板内の薬剤固定量が予想以上に差が大きかったものの、結果的には準不燃基準には適合した。しかし、注入量の管理上、部分的な薬剤固定量差を把握する簡易的な方法を検討する必要があると考えられた。

また、内装材完成までの加工の順は、①単板の乾燥、②難燃薬剤の注入（減圧加圧、温冷浴など）、③単板の乾燥、④積層接着、⑤2次接着、⑥縦割切断、⑦本実加工である。このうち②では、割れやすいためハンドリングが難しいこと、③の乾燥に5倍時間がかかること、⑥の切断について、刃物への薬剤付着によりリップソーでは難しいことが掲げられることから、現在の工場のラインにそのまま適合させるのは難しいことが判明した。

さらに、コスト面では上記①から⑦までの工程では、②の注入にかかる薬剤費を除いた経費、③の単板乾燥、⑥の切断で帯鋸を使用することから、未注入材の製品完成時のコストと比較して、4倍程度になると予測された。

今後これらの課題を解決するためには、注入量管理のための試験や機械設計及び乾燥設備の検討が必要である。

3. 6 開発 ② : 製品注入タイプ

3.6.1 開発概要

減圧・加圧注入法により、製品化した LVL に薬剤を注入した場合、特に長尺であればあるほど薬剤注入量のバラツキが懸念される。この実験は、そのバラツキがどの程度であるか確認することを目的としている。

難燃薬剤としては、リン酸グアニジン系のノンネンW-200(丸菱油化工業(株)製)を使用し、また、減圧・加圧注入法での注入に関しては、(株)バイオマス科学研究所の協力を得て実験を行った。実験としては、①積載して注入処理した場合の薬剤注入量の測定、②長さ方向の薬剤注入量の測定の2項目に関して行った。

その結果、LVL を、減圧・加圧注入法にて薬剤注入する事に関しては、製品間の注入量の大きなバラツキは見られず、積載による薬剤注入量のバラツキも少なかった。また、長さ 4 m であっても、長さ方向において、大きなバラツキによる薬剤量の不足がないこと明らかにした。また、模型箱試験による準不燃性の検証を行った結果、10 分加熱で準不燃性能有ることを明らかにした。(10 分時点での変形については、確認できていない。)



図 3-②-1 積載の状態 (注入前)



図 3-②-2 積載の状態 (注入後)

3.6.2. 注入試験

1) 実験準備

試験体には、スギ材のLVLを24本用いた。

試験体の寸法は、幅150mm×長さ4000mm×厚さ30mmであった。

予め、初期重量及び寸法、含水率を測定した後、横に3列×縦に8段積載し、計24枚の処理を行った。(図3-②-1)

試験体としては、初期比重(g/cm^3)が、0.495～0.531で、平均0.508(g/cm^3)、含水率(%)が、15.8～19.8で、平均17.9(%)のLVLを使用した。

難燃薬剤は、リン酸グアニジンを主成分とするノンネンW-200(有効成分50%)を使用した。ノンネンW-200を水で希釈し(重量比40:60)、有効成分20%となるように調整した。

薬剤注入量は、含浸処理後、取り出したLVLの重量増加量から算出した。

また、薬剤注入量から実際に有効成分として注入されている薬剤の量を、理論注入量とし、薬剤注入量から算出した。

注入は、(株)バイオマス科学研究所所有の減圧・加圧注入釜を使用した。注入条件として、減圧 $1.0\text{ kg}/\text{cm}^2$ (0.098MPa)で1時間holdし、その後、薬液を投入し、 $1.0\text{ kg}/\text{cm}^2$ (0.098MPa)に戻し、更に1時間holdし、加圧は、 $5.0\text{ kg f}/\text{cm}^2$ (0.49MPa)で3時間行った。

乾燥は、(株)バイオマス科学研究所にて、約 60°C ×7日間行い、また、100mmカット品に関しては、丸菱油化工業(株)にて 50°C ×5日間行った。

2) 積層して注入処理した場合の薬剤注入量の測定

減圧・加圧注入後、24 本全ての処理後の LVL 重量を測定した。以下の式により、処理後の薬剤注入量(kg /m³)を算出した。

- 薬剤注入量(kg /m³)=(処理後の LVL の重量(kg)-処理前の LVL の重量(kg))/
処理前の LVL の体積(m³)

更に、以下の式により、理論注入量を求めた。

- 理論注入量(kg /m³)= 薬剤注入量(kg /m³)×有効成分濃度(20%)

3) 長さ方向の薬剤注入量の測定

LVL 重量を測定した試験体のうち、5 体を抜き取った。抜き取りの場所としては、図. 1 の左上(A6)、右下(D1)、センター部分の 2 体(C3, C4) とした。

また、薬剤注入量算出後、薬剤注入量が少ない試験体を 1 体抜き取ることとした。

それらの試験体は、未乾燥の状態で端部より 100 mm 間隔でカットし、1 体の試験体より 39 体の試験体を作成した。

重量及びサイズを測定後、薬剤注入量を算出した。但し、処理前の LVL の重量は、長尺での初期比重を元に、処理後の体積から算出した。

処理前の LVL の重量、及び薬剤注入量、理論注入量は、以下の式にて算出した。

- 処理前の LVL の重量(kg)= 初期比重(g/c m³)×カット後の体積(c m³) × 1000

- 薬剤注入量(kg /m³)=(処理後の LVL の重量(kg)-処理前の LVL の重量(kg))/
処理前の LVL の体積(m³)

- 理論注入量(kg /m³)= 薬剤注入量(kg /m³)×有効成分濃度 20%

3.6.2.1 結果

1) 積載して注入処理した場合の結果

図 3-②-1 のように、水平方向に 3 列、垂直方向に 8 段積載した。薬剤注入量は、581 ~ 638 kg /m³であり、平均 612 .1 kg /m³の薬剤注入量であった。

各試験体の薬剤注入量より、理論注入量を算出すると、116 ~ 128 kg /m³であり、平均 122.4 kg /m³の薬剤注入量であった。(表 1 1)

表 1 1 理論注入量

No.	理論注入量kg./m ³	No.	理論注入量kg./m ³	No.	理論注入量kg./m ³
A6	123(1.0)	A4	123(0.4)	A2	126(3.1)
A5	121(-1.0)	A3	123(0.9)	A1	127(5.2)
B6	122(-0.6)	C6	119(-3.8)	D6	117(-5.5)
B5	116(-6.2)	C5	121(-1.3)	D5	119(-3.9)
B4	119(-3.2)	C4	125(2.5)	D4	120(-2.3)
B3	125(2.8)	C3	127(4.3)	D3	124(1.5)
B2	121(-1.7)	C2	124(1.7)	D2	125(3.0)
B1	123(0.8)	C1	125(2.8)	D1	122(-0.5)
平均値				122.4	
標準偏差				3.197	
95%信頼区間				1.004	

薬剤注入量では、平均値からのバラツキが $-30.8 \sim 25.8 \text{ kg / m}^3$ と約 57 kg / m^3 のバラツキ幅が見られ、大きなバラツキとして感じられたが、実際に、理論注入量に換算してみると $-6.2 \sim 5.2 \text{ kg / m}^3$ となる。この場合の、標準偏差を見てみると、3.05 となり、大きなバラツキとしては感じられない。

LVL の性質上、心材と辺材が混在するために、もう少しバラツキが発生する事が懸念されていたが、薬剤の理論注入量としては、バラツキが少ないと言えるのではないかと。また、積載することにより、積載時の中心部分での注入量の不足が懸念されたが、規則性は見られなかった。積載による場所的なファクターは考慮しなくても良いのではないかと。という結果となった。

2) 長さ方向の薬剤注入量の測定の結果

減圧・加圧注入処理を行った 24 本の処理材のうち、A6、C3、C4、D1 の 4 本について、一方の端部より 100 mm毎にカットし、重量を測定した(39 カット)。薬剤注入量を求めるため、減圧・加圧含浸処理を行った直後にカットした。

また、比較的理論注入量の少なかった D6 に対しても、一方の端部から 600 mmまでの 6 カット、センター部分の 6 カット、逆の端部の 6 カットの合計 18 カットの重量を測定した。

理論注入量に関して、試験体 A6 では、 $118 \sim 135 \text{ kg / m}^3$ 、C3 では $119 \sim 131 \text{ kg / m}^3$ 、C4 では、 $116 \sim 134 \text{ kg / m}^3$ 、D1 では $114 \sim 123 \text{ kg / m}^3$ 、D6 では、 $112 \sim 123 \text{ kg / m}^3$ の結果となった。カット品の理論注入量の平均値などを、表 1 2 に示す。

表 1 2 カット品の理論注入量

No.	平均値	平均値からのブレ		標準偏差	信頼区間(95%)
	kg/m ³	max kg/m ³	min kg/m ³		
A1	123.18	11.58	-5.03	2.93	0.93
C3	123.10	8.19	-4.35	2.40	0.75
C4	122.15	12.25	-6.29	3.90	1.22
D1	117.75	5.47	-4.21	2.36	0.74
D6	116.58	8.11	-3.86	3.27	1.51

また、各個体の理論注入量のグラフを、図 3-②-3 に示す。図 3-②-3 で解るように両端部で平均値よりも多めに注入される現象が見られるが、端部より 500 mm 内部を見ると比較的安定しているように見える。

この結果より、長さ方向中央部での薬剤量の不足は見られないと考える。

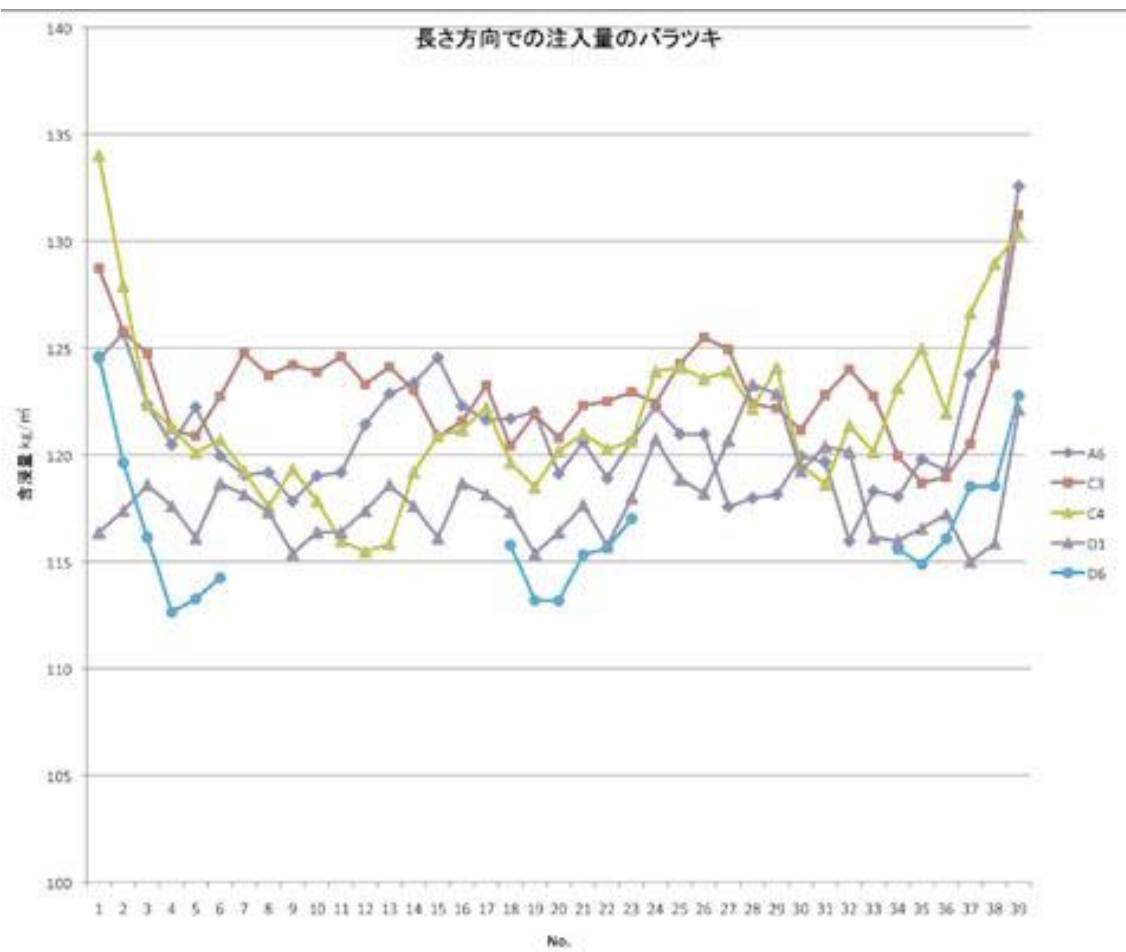


図 3-②-3 長さ方向での注入量のバラツキ

3.6.3 コーンカロリーメータ試験

今回の減圧加圧注入した試験体は、コーンカロリー試験は行っていない。

3.6.4 模型箱試験

今回の減圧加圧注入した試験体は、模型箱試験により評価した。

通常、準不燃試験のため、10分間で行うが、今回はデータ取りと言うことで、20分までの加熱試験を行った。

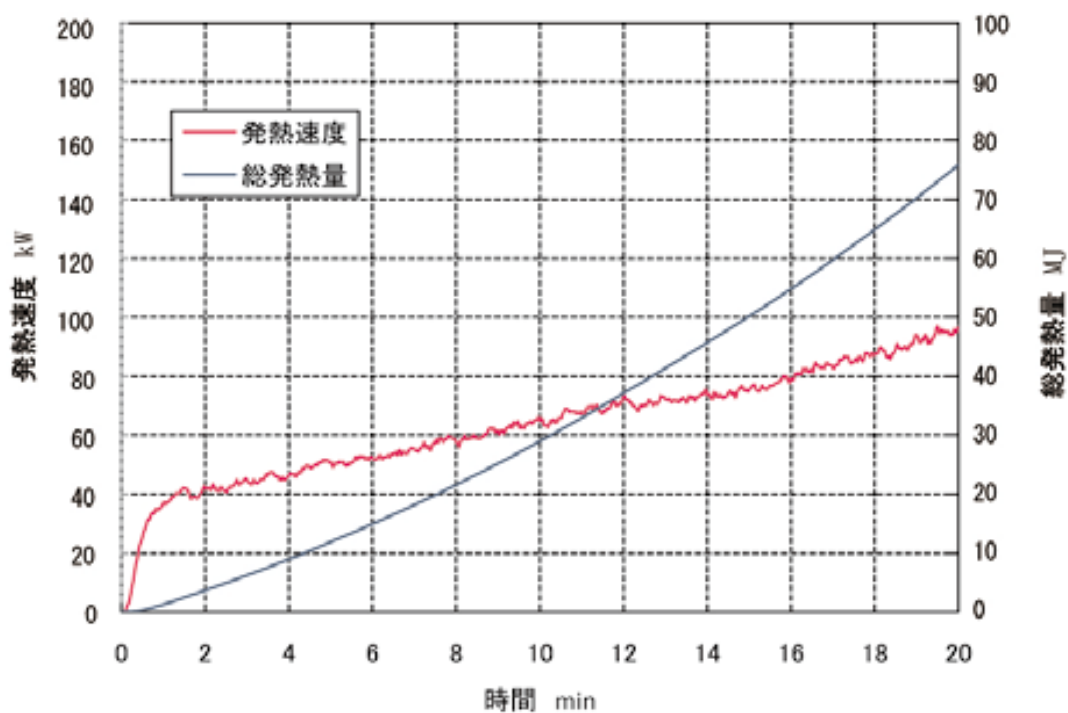


図 3-②-4 模型箱試験 (発熱速度)

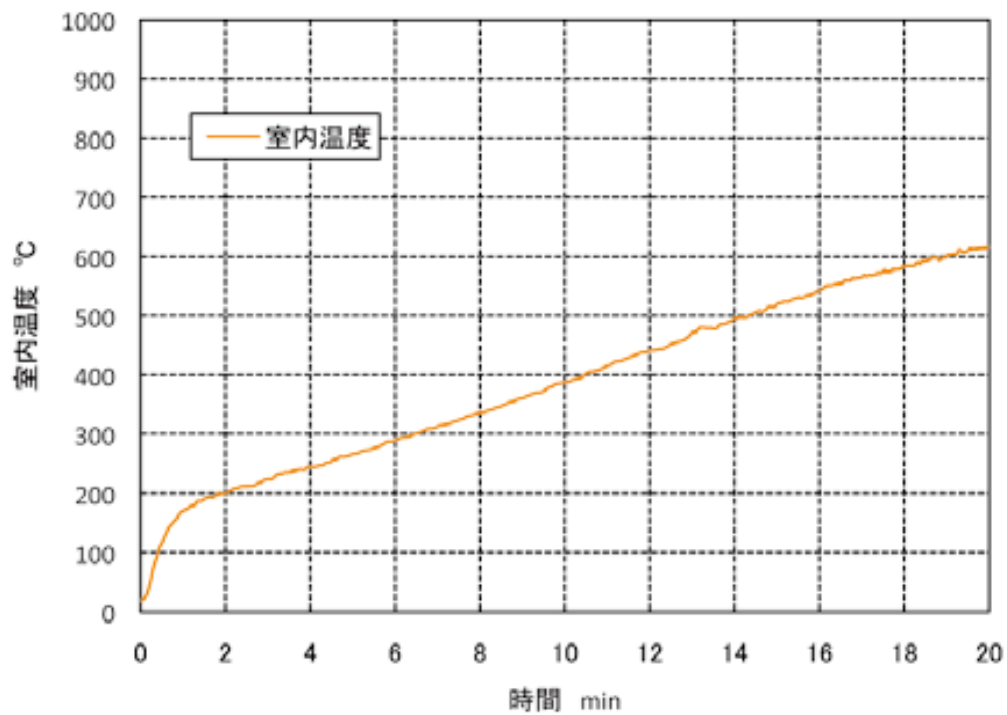


図 3-②-5 模型箱試験 (室内温度)

試験体	時間 min	総発熱量 MJ	最高発熱速度 kW	防火上有害な変 形の有無	発熱速度が連続し て140kWを超過し た時間 sec
製品注入LVL	5	11.9	51.7	収縮による 隙間あり	0
	10	29.0	66.1		0
	20	75.9	96.9		0

図 3-②-6 模型箱試験 (結果)



図 3-②-7 模型箱試験試験体 (内部)



図 3-②-8 模型箱試験体

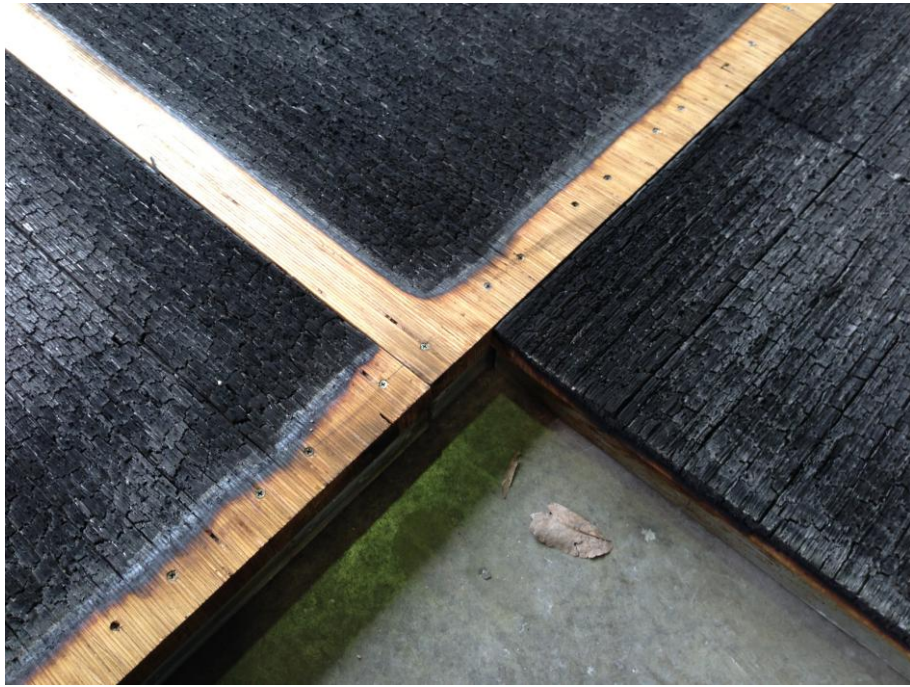


図 3-②-9 模型箱試験体

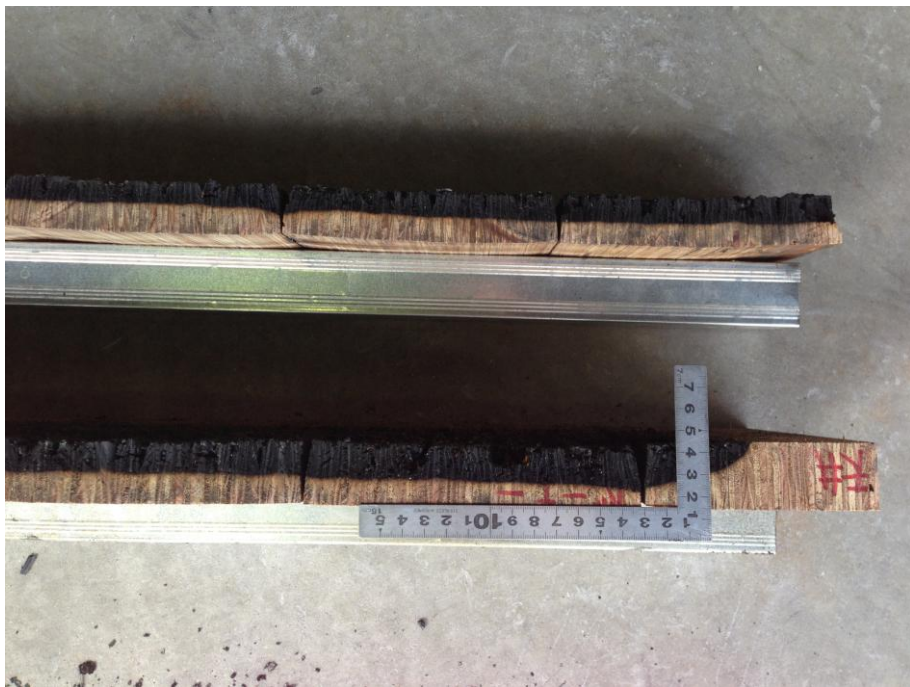


図 3-②-10 模型箱試験体 (試験後の材料の断面)

3.6.5 考察

今回の試験は、各試験体のサイドマッチング等による初期の比重測定を行っていないため、カットサンプル自身の初期比重を長尺での比重を元に計算している。その為、正確な重量計算値は得られないのだが、カット品での初期比重が一定であったと仮定した場合、多少のバラツキは見られるものの、大きな変動ととらえるまではいかないと考える。

また、今回の試験において、30 mm厚の LVL 製品を今回の条件で減圧・加圧注入処理を行った場合、理論注入量として、平均 120 kg /m³が得られた。同時に、113 kg /m³という理論注入量の下限值も得ることが出来た。

これらの試験体は、模型箱試験によって準不燃性能を評価した結果、発熱量的には準不燃の規格をクリアする性能であるという結果が得られた。(防火上有害な変形の確認は 20 分後に行ったため 10 分時点での変形は確認できなかった。)

3. 7 開発 ③ : 表面塗布タイプ

3.7.1 開発概要

LVL の表面に薬剤を塗装することにより LVL を準不燃化することができれば、設備の単純化による生産コストの低減や生産工程の短縮につながる事が予想される。このような観点から表面塗付タイプを開発することとした。

何も塗装していない状態の LVL を ISO 5660-1 に規定されているコーンカロリメータ法によって試験すると 10 分間の発熱量は 30 ~ 40 MJ / m² を超えてしまうため、薬剤塗付タイプで LVL を準不燃化するためには、基材となる LVL そのものに火災による輻射熱を伝えない断熱性が求められることとなる。同時に、塗付厚さが厚いと生産工程が複雑化する、生産そのものに時間がかかるなどの障害が予想されることから、塗付薬剤はできる限り薄膜であることが求められる。また、LVL が持つ意匠を保持するためには塗付薬剤に透明性が求められることから、本研究ではシリケート系を使用することとした。



図 3-③-1 表面塗布タイプ

3.7.2 コーンカロリメーター試験

1) 塗装仕様

シリケート系薬剤は水に弱いため、これを保護するクリヤー層が必要となる。保護クリヤー層としてはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、シリコン樹脂、ウレタン樹脂など種々の候補が挙げられるが、本研究では水蒸気遮断性の高い塩素化オレフィン樹脂系を使用することとした。塗装断面を図 3-③-2 に示す。

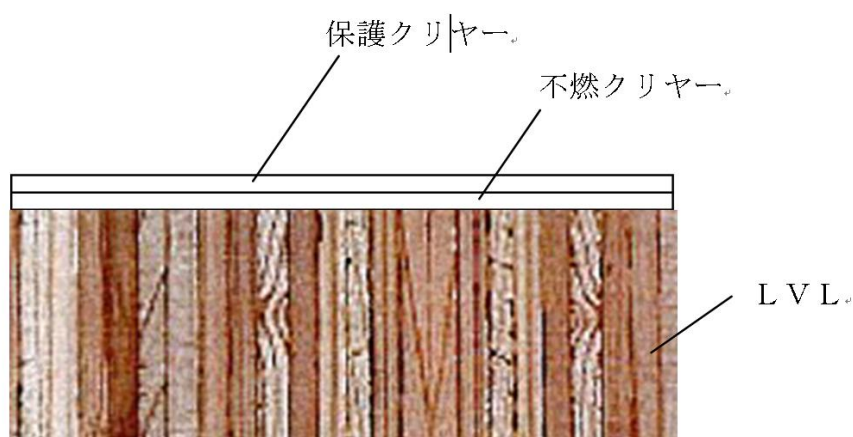


図 3-③-2 塗装断面図

また、最適な塗付量を確認するため、薬剤の塗付量は 2.5 、 3.0 、 3.5 kg/m^2 の 3 水準とし、保護クリヤーの塗付量は 0.035 kg/m^2 に固定した。また、基材となる LVL は積層断面が塗装面となるよう切断し、厚さは 30mm とした。

2) 試験方法

試験方法はISO 5660-1に規定されているコーンカロリメータ法により10分間加熱を行って、総発熱量 (MJ/m^2) 及び最大発熱速度 (kW/m^2) を測定することにより行った。試験体は各塗付量につき2体ずつ作製した。

また、コーンカロリメータ法の結果から塗付薬剤の最適塗付量を推測し、模型箱試験を行った。

3) 試験結果

試験による総発熱量の結果を表1-3に、試験中の積算発熱量の推移を図3-③-3に、最大発熱速度の結果を表1-4に、試験中の発熱速度の推移を図3-③-4に、試験前後の写真を図3-③-5～図3-③-10に示す。

表 1 3 総発熱量

塗布量 (kg/m ²)	総発熱量 (MJ/m ²)	
	試験体 1	試験体 2
2.5	2.6	2.2
3.0	4.0	1.3
3.5	0.5	0.4

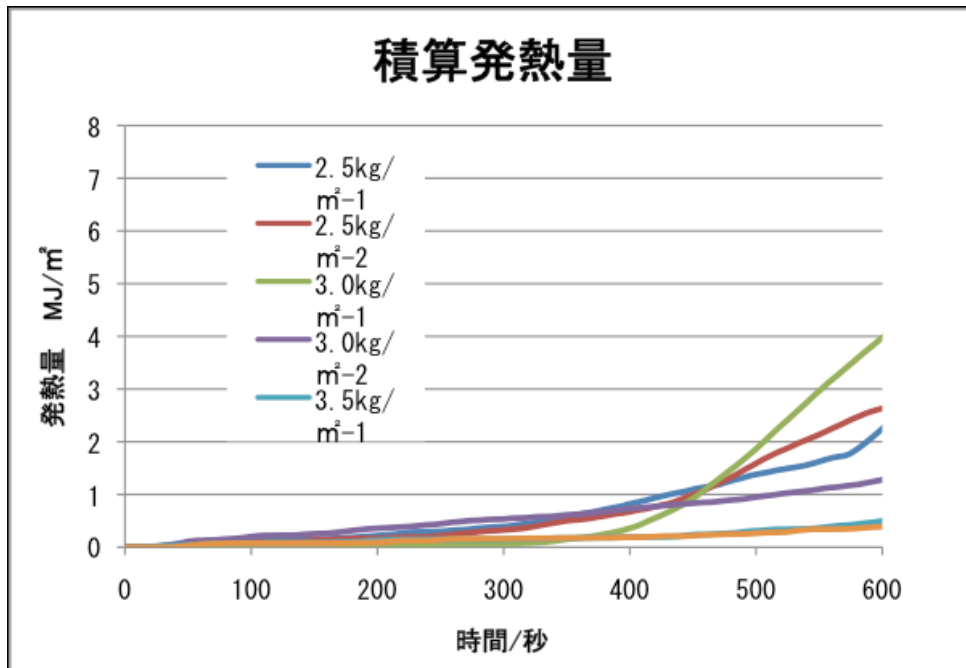


図 3-③-3 積算発熱量の推移

表 1 4 最大発熱速度

塗布量 (kg/m ²)	総発熱量 (MJ / m ²)	
	試験体 1	試験体 2
2.5	22.1	14.2
3.0	23.3	6.6
3.5	4.0	3.8

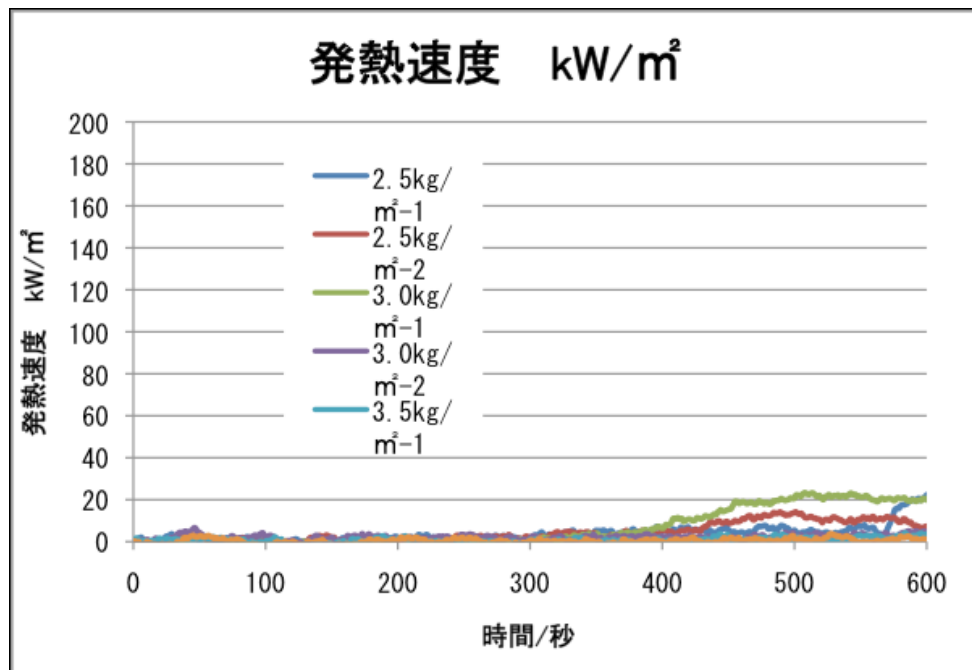


図 3-③-4 発熱速度の推移



図 3-③-5 試験前写真



図 3-③-6 試験後写真

いずれの塗付量も準不燃試験の基準値（発熱量 $8 \text{ MJ} / \text{m}^2$ 以下、発熱速度 $200 \text{ kW} / \text{m}^2$ 以下）を達成した。今回使用した薬剤は LVL に塗付して十分な性能を発揮していると言える。なお、塗付量 $3.0 \text{ kg} / \text{m}^2$ の試験体が塗付量 $2.5 \text{ kg} / \text{m}^2$ の試験体に比べて高い総発熱量を示しているが、これは LVL の節が裏面まで貫通していたことにより、薬剤が流れ落ちてしまったことによるものではないかと想像される。このことから、実際の生産では節を埋める必要がある。

外観については LVL の意匠を視認するのに十分な透明性を保持しているが、塗装により LVL がやや褐色に変色する。また、薬剤を LVL に塗付する際に吸い込みむらが生ずる可能性もあることから、LVL と薬剤層との間にプライマー層を挟むことも検討が必要である。このプライマー塗装により薬剤塗付時の LVL 変色を抑制することができる可能性もある。

3.7.3 模型箱試験

コーンカロリメータ試験の結果から、塗付薬剤の塗付量を 2.5 kg / m^2 として模型箱試験を行った。板間はすべて突きつけとした。模型箱試験の結果を表 1 5 に、時間ごとの総発熱量と発熱速度の推移を図 3-③-7 に示す。

表 1 5 模型箱試験の結果

総発熱量 (MJ)	再考発熱速度 (kW)	防火上有害な変形の有無	再考発熱速度継続して 140kW を超過した時間
13.5 (5 分間)	57.95 (5 分間)	なし	0 (5 分間)
42.9 (10 分間)	150.44 (10 分間)		31 (10 分間)

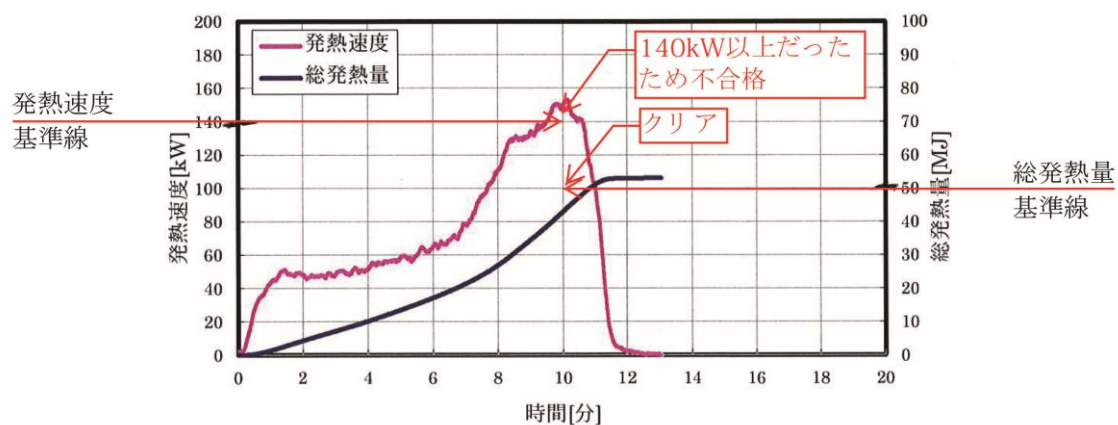


図 3-③-7 総発熱量と発熱速度の推移

試験中は可燃性ガスの噴出とみられる火炎が見られた。

試験後の発泡状況は部分的に大きな膨れがあり、板によって発泡倍率に差が見られた。目地については他の部位と比較して炭化の進行度合いに差がないことからあまり影響はなかったものと思われる。

模型箱試験では発泡倍率の違いやコーンカロリメータ試験では生じなかった大きな膨れが確認された。今後はこれらの原因を探求するとともに耐久性や生産性の評価を行うこととしたい。



図 3-③-8 模型箱試験体 (内部)



図 3-③-9 試験後の状態

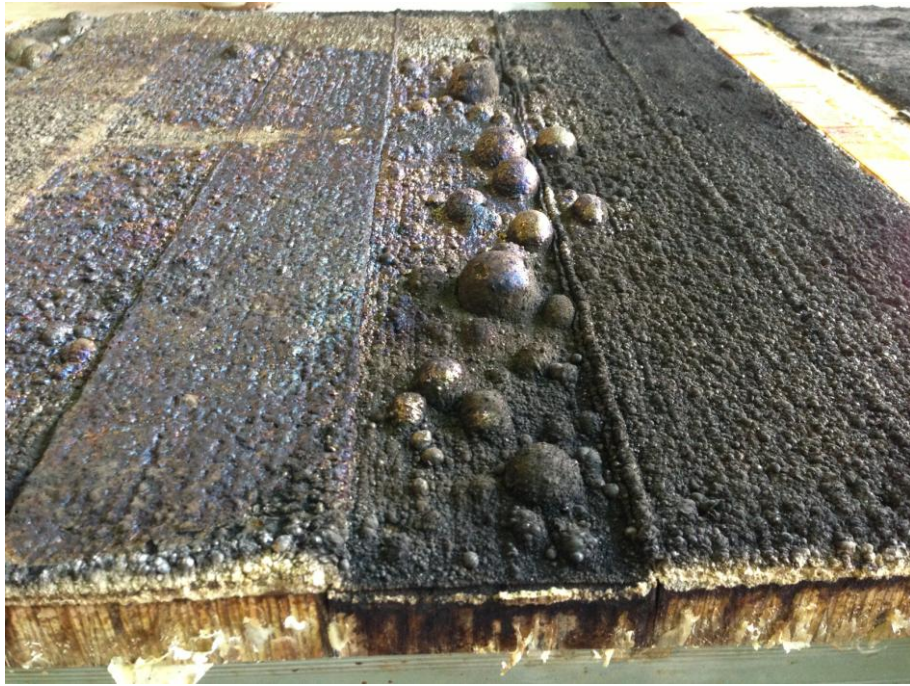


図 3-③-10 加熱膨れ



図 3-③-11 試験後の断面

4. 準不燃材料の性能評価試験

準不燃材料に必要な性能は、簡単にいうと「10 分間燃えないこと」といえる。この10 分間燃えないことを証明する方法として、国土交通大臣認定取得のための性能評価試験では、①コーンカロリメーター試験と②模型箱試験を準備している。多くの性能評価試験では、試験体製作が容易なコーンカロリメーター試験が採用されることが多い。ここではそれぞれの試験方法を比較してみたい（表 16）。

コーンカロリメーター試験は、10 cm × 10 cm × 実際の厚さの板状の試験体をコーン型の電熱ヒーターを用いて、所定の加熱強度で表面を熱して、口火により着火・燃焼するかを試験体表面付近の酸素濃度測定から発熱速度（単位時間あたりの発熱量）を算出して評価する。試験体が小さいため比較的均質な材料に向けた試験方法といえる。たとえば、難燃処理木材の場合、10 cm × 10 cm の試験体内に小さくない節があると、節部分は表。うまく難燃処理されないことが多いためその節が燃えただけでも判定の規定値を超えることがある。一方、模型箱試験は、小さな部屋（内法で幅 84 cm × 奥行 168 cm × 高さ 84 cm）の内装（壁・天井）を再現して、部屋の隅で 40kW 相当のプロパンガスバーナーで出火させて、酸素濃度測定から内装の発熱速度を算出して評価する。



内装の表面積は大きくなり、前述の節等による局所的な弱点を全体でカバーすることが可能である。すなわち、難燃性が必ずしも均質でない材料にとっては内装全体で評価できる分、素材の特徴が不利になりにくい試験方法といえる。その反面、コーンカロリメーター表試験の試験体と比較して、試験体製作に労力と費用がかかる点が短所といえる。ちなみに、いずれの試験方法も評価試験費は 64 万円で同一である。

国土交通大臣認定取得までの一般的なスケジュールは、性能評価試験実施までの事前

打ち合わせ・性能評価書案作成が約 2-3 ヶ月、性能評価試験用試験体製作（試験機関の立ち会い含む）1-2 ヶ月、試験体実施（試験体の養生期間を含む）1-2 ヶ月、性能評価委員会及び評価書の発行 2-3 ヶ月、大臣認定申請・取得 2-3 ヶ月と、最短でも半年以上がかかり、長ければ着手から大臣認定書取得まで 1 年以上かかることもある。

すなわち、計画的な性能評価試験の実施、大臣認定取得による実用化が必要といえる。

表 1 6 試験方法の比較

区 分	コーンカロリメータ試験	模型箱試験
試験装置外観		
試験体寸法	10cm × 10cm	84cm × 84cm × 168cmが内法の模型箱 (壁・天井の仕上げを再現)
試験体数	3	2
加熱方法	コーン型ヒーターで試験体表面に加熱強度 50kW/m ² を与えながらスパークロ火を与える	発熱速度40kWのプロパンがプロパンガスバー ナーを模型箱隅角部に設置し出火させる。
判定方法	10分間の総発熱量が8MJ/m ² を与えないこと	10分間の総発熱量が30MJ/m ² を与えないこと (火源分20MJを除く)
	10分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂 や穴がないこと	10分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂 や穴がないこと
	10分間、最高発熱速度が10秒以上連続して 200kW/m ² を超えないこと	10分間、最高発熱速度が10秒以上連続して 140kW/m ² を超えないこと

5. まとめ

本事業では、LVLを建築物の壁・天井に自由に使用できるよう、建築基準法の内装制限で要求される性能のうち、もっとも要求性能の高い「準不燃材料（10分間激しく燃えない材料）」の開発を、①単板含浸タイプ、②製品含浸タイプ、③表面塗布タイプの3種類の処理方法について、その発熱特性を知るためにコーンカロリメーター試験及び模型箱試験を実施した。それぞれの技術開発で得られた知見の概要は以下の通りである。

5.1 開発で得られた知見の概要

1) 単板含浸タイプ

- ・ LVL 製作前の単板に難燃薬剤（リン・チッソ系化合物）を平均 160 kg/m^3 加圧含浸し、その後、フェノール樹脂系接着剤で一次接着して LVL を作成した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（模型箱試験にて性能確認）。
- ・ 単板の一次接着に使用するフェノール樹脂系接着剤の発熱量は 2 MJ/m^2 程度で、LVL の貼り合わせ小口面をあらわしにした場合は、燃焼する接着剤量が減少するため準不燃性能に与える影響は少ない（コーンカロリメーター試験にて性能確認）。

2) 製品含浸タイプ

- ・ LVL 製作後に難燃薬剤（主成分：リン酸グアニジン系）を平均 122 kg/m³加圧含浸した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（模型箱試験にて性能確認）
- ・ LVL 製品への難燃薬剤の加圧含浸であっても、長さ方向の注入ムラを比較的押さえられる可能性がある。ただし、同じ注入量であっても発熱速度にバラツキ出ることがある。

3) 表面塗布タイプ

- ・ LVL 製品の表面にシリケート系の塗装を 2.5 ～3.5 kg/m²程度塗布した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（コーンカロリメーター試験にて性能確認）。ただし、模型箱試験では、表面の塗装に亀裂等が生じて熱分解ガスが発生し準不燃材料の性能が確保できないことがある。
- ・ シリケート系の塗装のシーラーや表面保護塗料の仕様によって、所定の性能が発揮されないことがあり、相性の確認が必要である。薬剤処理、製品加工、手触り、着色の難易度やコストを考慮すると、現時点では、②製品含浸タイプについて、「準不燃材料」の大臣認定取得が有力であるが、いずれの処理方法も一長一短があるため技術開発については継続的に進めることが望まれる。本事業では、①～③の処理方法で、「準不燃材料」の性能を有する仕様・条件等を明らかにしたが、今後、大臣認定取得など実用化に向けての課題は少なくない。そこで、以下に現時点での課題を整理する。

5.2 今後の課題

1) 単板含浸タイプ及び②製品含浸タイプ

- 単板内の難燃薬剤の断面分布・平面分布の把握

発熱特性を把握するために必要な難燃薬剤の断面的・平面的なバラツキを把握する。なお、単板含浸の場合の断面的なバラツキについては単板厚が3mm程度であればほぼないと考えられる。

- 準不燃性能に必要な適切な薬剤含浸量の把握

難燃薬剤の注入量が多いほど発熱量を抑えることができるが、注入量の管理・制御の難易度やコスト上は必ずしも注入量を多めに設定することが適切とはいえない。準不燃性能に必要な最低限の注入量を知り、そこに安全率を掛けるなどして適切な薬剤量を決定したい。

- 節・割れ等が発熱特性に与える影響の定量的把握

節や割れ等の弱点は発熱量が増大する原因になるため、単位面積あたりの弱点をコントロールする必要がある。弱点ごとに、発熱特性を系統的に把握し、製品管理に反映させる。

- 板材の目地部の形状が発熱特性に与える影響の把握

板地の目地を本ザネや突き付けにするなど、一般部と板部が同じ厚さであれば、目地

部が弱点になることが少ないが、合いじゃくりなど目地部が薄くなる場合など、意匠上要求される目地について、その発熱特性を把握し準不燃性能上問題のない仕様を確立する。

- 薬剤処理後の製品加工方法の検討

薬剤処理後の木材を切断、加工する場合、薬剤が刃に与える影響が小さくないため、適切な加工装置を検討する。

2) 表面塗布タイプ

- 適切なシーラー及び表面保護塗料の把握

シリケート系塗装の下地となるシーラー（木材基材の吸い込み抑制）の種類により、シリケート系塗装の発泡状況が変わるため適切な下地処理方法を検討する。また、表面保護塗料は手触り・着色に影響を与えるため、適切な塗料を検討する。

可燃材料である木材を難燃化する技術は、昔から様々な方法が提案されているが、燃えるものを燃えないようにするのはそう簡単なことではない。しかし、本事業ではLVLの製造方法や意匠性を考慮した適切な処理方法に関して、よい見通しが得られたので、市場の意見を聞きながら、引き続き技術開発を進めていきたい。

付録

LVL 準不燃材料開発研究ブック



LVL 準不燃材料開発研究ブック

— 準不燃材料・内装材編 —

内装木質化等住宅部材開発

LVL 準不燃材料開発研究ブック

－準不燃材料・内装材編－

内装木質化等住宅部材開発

一般社団法人全国 LVL 協会 編

本事業は、平成 24 年度林野庁の補助事業「内装木質化等住宅部材試験開発等支援事業」を受けて、一般社団法人全国 LVL 協会を中心として LVL(単板積層材)の準不燃材料の大臣認定取得を目指して取り組んだ開発研究です。

大臣認定は、平成 24 年秋頃取得予定です。

この冊子はその開発研究概要をまとめたものです。

0

目次

1 開発の目的・背景	・・・5
2 内装材としてのLVLへの期待	・・・10
3 単板積層材LVLとは	・・・12
4 開発に取り組む3つのタイプ	・・・14
5 開発概要	・・・16
6 開発1：単板含浸タイプ	・・・18
7 開発2：加圧注入タイプ	・・・22
8 開発3：薬剤塗布タイプ	・・・26
9 準不燃材料の性能評価試験とは	・・・30
10 まとめ	・・・31

1

開発の目的・背景

■開発の目的・背景

構造材としてのLVLの特徴は、柱梁といった線材として使用できること、さらに壁や床といった面材としても使用できることです。一方、意匠材（仕上材）としての特徴は、その製造方法から生じる木目面と積層面という全く異なる2つ表情をもっていることです。構造材をそのまま仕上げ材として使用してきた日本の木造建築においては、この2つの特徴をいかに活かしていくことができるかが、これからの木造建築の魅力を増すために非常に重要な要素になります。

これまでの日本の木造建築は、木をあらわしで使うこと、木が見えること、木に触れることがあたり前でした。しかし、都市に建つ木造建築「都市木造」では、昔から使用しているからといってそのまますぐに使えるわけではありません。当然、現代の建築に要求される性能を満足しなければなりません。個人住宅のように特定の人

使用する建築とは異なり、都市部の大型木造建築では不特定多数の人が出入りするようになり、それにともない火災に対する安全性確保から内装材にも高い防耐火性能が必要とされることとなります。

本研究では、内装材としてのLVLの魅力を引き出しながら火災に対する安全性を確保することができる部材の開発を目指しています。

東京大学生産技術研究所
教授 腰原幹雄



材料の厚みを活かし、凹凸をつけて
積み上げることで、ポスターやチ
ラシのディスプレイの手がかりに。





県産材の間伐材を利用し、地産地消で環境にもやさしい材料として施設のアピールに。

「神門通りおもてなしステーション」(島根県出雲市)

プロデュース：CitySwitch Japan

基本設計：山代悟 + ビルディングランドスケープ

実施設計・工事監理：江角アトリエ、環境設備計画

出雲市都市建設部設備建築住宅課

写真：古川 誠



積層面がディスプレイの背景としても目をひく表情に。



LVL のもつ重厚感を活かした空間の間仕切りとディスプレイを兼ねた棚。





LVL の積層面が作り出すあたたかみのある
表情と、素材のもつ力を活かした魅力的なデザイン。

「はとばキッチン」(静岡県静岡市清水区)

基本設計：山代悟 + ビルディングランドスケープ

実施設計 + 現場監理：山代悟 + ビルディングランドスケープ

+ 荒井建築計画事務所

写真：新 良太

2

内装材としてのLVLへの期待

LVLの準不燃材料を開発するにあたって、どのようなニーズがありえるのか、また販売する際の戦略や実際に使用している感想等についてヒアリングを行った。

様々なご意見を頂き、今後の商品開発に向けての重要な参考意見になるだろう。

□主なヒアリング先：

- ・ 大手内装設計・施工会社 営業・施工
- ・ LVLを内装に使用したことのある建築家
- ・ LVLを使用した公共施設の施主(市役所職員)
- ・ LVLを使用した商業施設の施主(レストランの店長)

【質問項目】

- Q1. あなたの職業、職種について教えてください。
- Q2. 今回LVLを実際に内装に使った箇所、施設の用途を教えてください。
- Q3.LVLの材料の第一印象を教えてください。
- Q4. 施設を実際に使うお客様や従業員の方の反応などを教えてください。(施設管理者のみ)
- Q4. これまで関わったプロジェクトの中(商業施設等)で、建築基準法の内装制限以外の制限はどのようなものがありましたか。(建築業者のみ)
- Q5. 耐火性能以外に施主や施工者から求められる性能はありますか。(建築業者のみ)
- Q6.LVLはどのような場所、施設に需要がありそうですか。
- Q7. 材料に厚みがあることを活かして使えそうな場所はありますか。
- Q8. この材料が受け入れられそうな業界、店舗形態はありますか。
- Q9. 内装材や家具材料として使う場合に厚みや大きさの規格など扱いやすいサイズや厚みはありますか。
- Q10. 準不燃材料が開発されれば使いたいと思いますか。
また、準不燃材料のサンプルを見てどう思いますか。
- Q11. その他LVLを使用した感想や要望、使い方やアピールの仕方などのアイデア等ございましたらお教えてください。

■『LVL を内装材や家具に使った感想、またははじめて見た感想は？』

という質問に対しては、

「薄いプリントなどの表面の仕上げ材と違ってボリュームでの仕上げの表現が可能なのがおもしろい」、「合板と比べてあたたかみがあり、高級感がある」、「機能面では掲示しやすいのがとてもいい(押しピンなどがさしやすい)」等の意見があり、素材のもつ表情の魅力と高級感がある印象をもっている意見が見られた。

■『内装材や家具の材料として使用する際に厚みや大きさなど扱いやすい寸法はありますか？』という質問に対しては、

「厚いものと薄いもので用途を変えて使いたい」、「建具など動くものに使えるよう薄いものもほしい(反らない最低限の厚みのなかで)」、「長さは制限がないほうがいい(目地なしで使えるのがおもしろい)」といった意見に見られるように、標準の厚みのバリエーションを何種類か提示するもしくは個別対応も可能ですといったように対応するのがよさそうである。

■『準不燃材の薬剤処理したもの(単板含浸タイプ)を見た印象は？』

という質問に対しては、

「この色が予めわかっていたらそれに合わせたインテリアの内装に仕上げれば問題ない」、という意見がある一方、「積層のしましま模様が少し分かりづらくなるのでもう少し色がうすいほうがよい」という意見も見られ、積層の素材感、表情を損なわない形で開発する必要があるようだ。

■『今後売り出す際に必要なものやアピールポイントになりそうなところは？』

という質問に対しては、

多くの回答者の方より「県産材や間伐材を使えるところはアピールになる」という意見を頂いた。地元の材料を使えるところを施設のアピールとしても分かりやすく、採用しやすい傾向がありそうである。

またインテリア等内装業界の方からのご意見で、「他の建材や内装材のようにカットサンプルをつけたカタログやサンプル帳がほしい(素材(樹種)、色、目の粗さなどのバリエーションが分かるもの)」といった一目でどのような素材や色か分かるサンプル帳がほしいという意見や、「内装材で使う際は納期が重要」等の意見もあり、建築の材料供給とインテリアを中心とした内装業の材料供給や工期のスピードが異なることに注意する必要があり、あらかじめ在庫を用意しておくことやカタログ等に納期を明記する事等の対策が必要であるといった貴重な意見も頂いた。

■『LVL はどのような場所、施設に需要がありそうですか。』という質問に対しては、

「図書館や小学校などの集会スペースや人が集まる場所、公共スペースなど質感を出して人目をひく場所に使いたい」、「図書館、公共の場所、長く時間を過ごす場所」といったように木のもつあたたかみとLVLの表情を活かし、人目をひく場所や人が集って過ごす場所に使いたいという意見も多く見られた。

「ボリューム感を活かして使える什器など立体的に見えてくるところに使いたい」、「カウンターや受付の背景」など什器としても使いたいという意見が見られた。

その他に、「面材として使う場合は厚みを見せる事のできる出隅等に使用したい」等の材料の厚みがあることを活かしたデザインで使いたいという意見もあり、他の内装材とは違う特徴を活かしたデザインができることが魅力であると感じる人も見られた。

3

単板積層材 LVL とは

LVL（単板積層材）とは

LVL は、ロータリーレースまたはスライサーで切削した単板を、その繊維方向をほぼ平行にして積層接着したものです。現行の LVL の JAS においては、造作用と構造用の 2 区分があります。

構造用 LVL の用途は、主に建築物の耐力上主要な部位である梁、柱、土台、筋交い等です。造作用 LVL の用途は建築用については間柱や野縁、階段部材といった内部造作材料、建築用以外では家具、ドア等フラッシュパネルの枠材や梱包用資材があります。

単板の繊維方向を平行にして接着するのが基本ですが、造作用にあっては、直交する単板を規定の範囲内に入れることが可能で、ある程度面的にも使えます。構造用にあっては、直交する単板を入れる場合はその位置が限定されており、同時にその枚数も限定されています。よって、JAS における構造用 LVL は軸方向にはその強さが発揮されますが、軸方向と直交する方向では強度を保持しにくく、面で使うよりも軸で使うことに主眼が置かれてきました。

LVL の特長

1. 高い寸法安定性

材料となる単板は十分に乾燥させてから接着するため、製品も十分乾燥したものができます。よって、乾燥収縮が起きにくく、製材等と比較して曲がりや反りなどの狂いが起きにくくなっています。狂いが生じにくいということは、施工現場において間柱、垂木、野縁等の羽柄材のロットアウト率を低くすることや、壁や天井のゆがみや段差の発生など引き渡し後のクレームを減らすのに有効と言えます。（逆に、十分乾燥されているということは、濡れると膨張しやすいということを意味しています。使用される方は十分ご注意ください。）

2. 強度のばらつきが小さい

LVL は薄い単板を積層接着しているため、節などの欠点分散されることがあり、製材あるいは集成材と比較してエレメントが小さい分強度のばらつきも小さくなっています。強度性能が工学的に保証された信頼性の高い木質材料、すなわち優れたエンジニアードウッドであると言えます。

3. 用途に応じてどのような寸法でも製造可能

単板を縦継ぎすることでどのような長さでも、また積層数を変えることでどのような断面寸法の製品を製造することができます。つまり、間伐材のような小径丸太からでも、単板が取得できれば大きな断面の LVL を製造することができます。大断面から小断面まで、サイズにおいては高い自由度があります。

残念ながら JAS において湾曲材の規定がないので、構造用集成材が得意とする湾曲材は LVL では JAS による格付ができません。

4. 防虫、防腐、防蟻などの薬剤処理が容易

「単板」という薄い材料を使用しているため、接着剤に薬剤を混ぜる方法による処理（接着剤混入法）あるいは接着前の単板への加圧注入による処理で、断面に対して均一に薬剤が浸透した製品が製造できます。多数ある接着層を中心に薬剤が浸透するため、難注入材にも対応が可能です。当然、加圧注入による処理も可能です。

5. 積層面が持つ模様の魅力

薄い単板を積層しているため、切断面にはしましまの模様が出来ます。この模様は他の木材及びエンジニアードウッドではないため、近年内装材としての利用が注目され始めています。



LVL用の単板



2次接着を終えたLVL



製品化されたLVL

4

開発に取り組む3つのタイプ

近年、木質内装のニーズが高まり、建築基準法の内装制限で規制される壁・天井等に使用可能な木材が普及しはじめている。それらの多くは、スギやヒノキ等の針葉樹及びタモ等の広葉樹の製材であり、昔から使用されてきた部位（壁の羽目板や天井材など）に、建築基準法の不燃材料、準不燃材料または難燃材料の国土交通大臣認定を取得して使用できるようにしたものである。

一般に、木材を不燃化する場合、防火塗料の塗布や、リン酸またはホウ酸系の不燃化薬剤を加圧含浸する方法が考えられる。前者は、木材の表面のみに塗布するもので、塗料が不燃性であっても、木材の燃焼を抑制して建築基準法の不燃材料等の要求性能を満足するのはなかなか難しい。ただし、水ガラス系塗料で表面を完全にコーティングして、木材表面への酸素の供給や表面温度の上昇を抑制できれば実現可能性がある。また、後者は製材を中心に技術が普及しており、不燃材料、準不燃材料の大臣認定取得事例も多い。

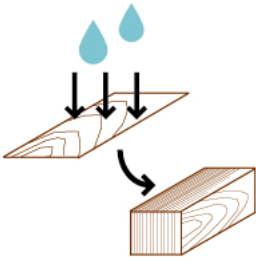
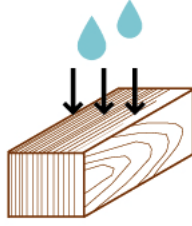
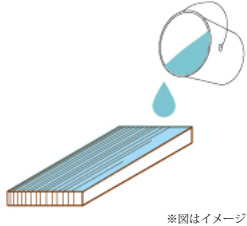
壁や天井材をつくる場合、製材、合板、LVL等を利用することが考えられるが、それらを薬剤処理する場合、前述の防火塗料の表面への塗布では大きな差はでないと予想される。一方、不燃化薬剤の加圧含浸では、完成品に処理する場合、貼り合わせ前の単板に処理する場合の2種類が考えられ、木材の不燃化では、部材断面にできるだけ均一に不燃化薬剤を加圧含浸したいので、完成品よりも単板のほうが単位体積あたりの表面積が大きく含浸しやすい可能性がある。

これらの背景のもと、今回の技術開発では、建築基準法の内装制限がかかる壁・天井のいずれの部分にも使用可能な「準不燃材料」のLVLを開発することを目的として、意匠（視覚、触覚）、準不燃性能の安定的確保、製造方法及びコストに重点をおいて、以下の不燃化の手法について開発を進めることとした。なお、「準不燃材料」とすれば、建築基準法の内装制限で規制される壁・天井のいずれの部分でも使用することができる。

1. 単板に薬剤を含浸させて貼り合わせて製品化する（以後、単板含浸タイプと呼ぶ）
2. 製品（単板を貼り合わせた後）に薬剤を加圧含浸する（以後、製品含浸タイプと呼ぶ）
3. 製品に耐火塗料を塗布する（以後、表面塗布タイプと呼ぶ）

- ①はLVL等単板を貼り合わせてつくる製品特有の手法でありこれまで開発が実施された事例は少ない。
②は従来のスギ等の製材の不燃化で用いられている手法であり、加圧含浸方法としてはもっとも実績がある。
①、②ともに含浸した薬剤（水溶性）が溶出しないように、表面に水分の出入りを絶つための塗装が必要となることが多い。また、③は鉄骨造の耐火塗料と同じ原理で表面に塗膜（断熱及び保護層）をつくり、木材表面に入る熱を抑制して木材が燃えないようにするもので、木材そのものを不燃化するものではない。

■ 3タイプの比較

		①単板含浸タイプ	②製品含浸タイプ	③表面塗布タイプ
製品概要	処理方法			 <small>※図はイメージです。</small>
		不燃薬剤を単板へ減圧・加圧注入	不燃薬剤をLVL(製品)へ減圧・加圧注入	LVL製品に不燃薬剤塗布し、準不燃化
	表面塗装	要※	要※	不要
意匠性	触感	一般的なポリウレタン同等	一般的なポリウレタン同等	ガラスコーティングのような感触
	色味	クリア、白木風、焦げ茶等で選択可能	クリア、白木風、焦げ茶等で選択可能	
加工性	切断	可	可	可
	サネ・仕口加工	可	可	可
	切断面の準不燃処理	現場処理不要	現場処理不要	木口が露出する場合は、現場塗布が必要

※表面塗装について：表面から塗料の水分が溶脱して白化現象が出てくるため、塗装（ポリウレタン塗装等）が必要になります。

■ 準不燃材料が使用できる箇所

下記の表の通り準不燃材料であれば、特殊建築物や無窓居室等内装制限のかかる居室、通路・階段等に使用することができる。これまで告示を使っても緩和適用外であった通路・階段等や天井にも使用することが可能になる。

内装制限を受ける建築物の用途と部位

N o.	用途・室	構造・規模			内装制限箇所 (壁・天井)	内装材の種類		
		耐火建築物	準耐火建築物	その他の建築物		不燃材料	準不燃材料	難燃材料(*1)
①	劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場	客席 ≥ 400㎡	客席 ≥ 100㎡	客席 ≥ 100㎡	居室	○	○	○
		通路、階段等	○	○				
②	病院、診療所(患者の収容施設のあるもの)、ホテル、旅館、下宿、共同住宅、寄宿舎、児童福祉施設等(*3)	3階以上の合計 ≥ 300㎡(*4)	2階部分の合計 ≥ 300㎡(*4)	床面積合計 ≥ 200㎡	居室	○	○	○
		通路、階段等	○	○				
③	百貨店、マーケット、展示場、キャバレー、カフェ、ナイトクラブ、バー、ダンスホール、遊技場、公衆浴場、待合、料理店、飲食店、物品販売業(加工修理業)の店舗	3階以上の合計 ≥ 1,000㎡	2階部分の合計 ≥ 500㎡	床面積合計 ≥ 200㎡	居室	○	○	○
		通路、階段等	○	○				
④	自動車車庫・自動車修理工場	全部適用			その部分又は通路等	○	○	
⑤	地階で上記①②③の用途に供するもの	全部適用			その部分又は通路、階段等	○	○	
⑥	大規模建築物(*5)	階数3以上、延べ面積 > 500㎡			居室	○	○	○
		階数2以上、延べ面積 > 1,000㎡			通路、階段等	○	○	
⑦	火気使用室	—	階数2以上の建築物の最上階以外の階	調理室等	○	○		
⑧	全ての建築物	無窓居室(*2)	床面積 > 50㎡		居室、通路、階段等	○	○	
⑨		法28条1項の温湿度調整作業室	全部適用					

注) (*1) 難燃材料は、3階以上に居室のある建築物の天井は使用不可。天井のない場合は、屋根が制限を受ける。高さ1.2m以下の壁は除く

(*2) 天井または天井から下方へ80cm以内にある部分の開放できる開口部が居室の床面積の50分の1未満のもの。

ただし、天井の高さが6mを超えるものを除く。

(*3) 1時間準耐火構造の技術的基準に適合する共同住宅などの用途に供する部分は耐火建築物の部分とみなす

(*4) 100㎡(共同住宅の住戸は200㎡)以内毎に、準耐火構造の床、壁または防火設備で区画されたものを除く。

(*5) 学校などおよび31m以下の②の頃の建築物の居室部分で、100㎡以内ごとに防火区画されたものを除く。

※建築基準法ではクリアできていても、防火地域で不燃材料にしなければならない指導を受ける場合は各担当課や消防と協議の必要があります。

5

開発概要

■実用化の目標

国産材（B材）の有効活用のため、単板積層材を建築用内装部材として、建築基準法の準不燃材料の規準に適合する火災安全性を付与した、また、積層面を表しにした新しい模様の内装材を提案する。

- ・ 1. 単板に難燃薬剤を注入または含浸させて積層接着する方法（単板含浸タイプ）

さらに、大量生産に対応するために大量の単板を減圧加圧により注入する方法と、少量生産に対応するために温冷浴法など簡易な設備により注入する方法を検討する。

- ・ 2. 単板積層材に難燃薬剤を注入させる方法（製品注入タイプ）

製品に注入するために、注入量の増加が見込まれる減圧加圧による方法を検討する。

- ・ 3. 単板積層材表面に不燃化塗料をコーティングする方法（表面塗布タイプ）

最も簡易な方法と考えられる塗料のみで準不燃化が可能かどうか検討する。

なお、未加工の積層面を表しにした内装材と難燃薬剤や不燃化塗料による色調の違いも比較する。

■発熱量測定試験の方法（P30 参照）

1. コーンカロリメーター発熱性試験

10cm×10cm×実厚さの試験体に50kW/m²の加熱と口火を与え、酸素消費法により発熱速度を測定し、総発熱量を推定する。準不燃材料の場合、10分間の総発熱量が8MJ/m²以下、最高発熱速度が10秒以上連続して200kWを超えないこと、防火上有害な裏面への貫通、亀裂穴が生じないことを確認する。

2. 模型箱発熱性試験

小規模な室（幅84cm×高さ84cm×奥行168cm）の内装（壁・天井）を再現して室隅角部で40kWのバーナーで出火させて、酸素消費法により発熱速度を測定し、総発熱量を推定する。準不燃材料の場合、10分間の総発熱量が30MJ（火源分として20MJを除く）以下、最高発熱速度が10秒以上連続して140kWを超えないこと、防火上有害な裏面への貫通、亀裂穴が生じないことを確認する。

■実施した試験

1. 単板含浸タイプ

1-1. 注入試験

注入試験は、未乾燥単板に難燃薬剤を注入できれば加工工程上有効であるため、未乾燥単板に減圧加圧法、及び温冷浴法を試した。次に乾燥単板について減圧加圧法、及び温冷浴法により注入量を確認した。

1-2. コーンカロリメーター発熱性試験

まず、未注入の単板積層材における接着剤の発熱量への影響を調べた。なお、市販の難燃薬剤を用いたため、既存のデータから準不燃規準に適合するためには、平均160kg/m³程度の薬剤固定量で可能と推定されるため、注入単板積層材の当該試験は行わなかった。

1-3. 模型箱発熱性試験

模型箱試験は、小規模室の内装を再現した試験体で行うが、節の影響を実寸で確認できるため、木材の準不燃化確認試験には適当であると考えられる。また、燃え抜けに関して、幅方向や長さ方向の継手の形状も確認できる方法であるため、試験を行った。

2. 製品含浸タイプ

2-1. 注入試験

注入試験は、乾燥単板積層材に難燃薬剤を減圧加圧法により注入した。

2-2. コーンカロリメータ発熱性試験

注入材発熱量などをコーンカロリメータ試験により評価した。

2-3. 模型箱発熱性試験

基本性能はコーンカロリメータ試験により評価できるため、模型箱試験は行わなかった。

3 薬剤塗布タイプ

3-1 コーンカロリメータ発熱性試験

塗布材発熱量などをコーンカロリメータ試験により評価した。

3-2. 模型箱発熱性試験

大面積での塗布材の燃焼状況を把握するため、模型箱試験を行った。

■開発における各タイプのメリット、課題

1. 単板含浸タイプ

1-1. メリット

単板含浸タイプは、3mm程度の単板の内部に比較的簡単に難燃薬剤が注入できるため、積層後には内部まで均質な薬剤固定量が確保される。仮に薬剤固定量が少ない部分、たとえば節などが存在しても、大きく影響を及ぼさない。この均質性が、一番のメリットとなる。

1-2. 課題

内装材完成までの加工の順は、①単板の乾燥、②難燃薬剤の注入（減圧加圧、温冷浴など）、③単板の乾燥、④積層接着、⑤2次接着、⑥縦割切断、⑦本実加工である。このうち②では、割れやすいためハンドリングが難しいこと、③の乾燥が5倍時間がかかること、⑥の切断について、刃物への薬剤付着によりリップソーでは難しいことが挙げられる。

1-3. コスト

上記①から⑦までの工程では、②の注入にかかる薬剤費を除いた経費、③の単板乾燥、⑥の切断で帯鋸を使用することから、未注入材の製品完成時のコストと比較して、5倍程度になると予測される。

1-4 色調

単板に薬剤を注入し、その薬剤の性質から色調は茶系で、心材、辺材の差が少なく、単調な色調である。

2. 製品含浸タイプ

2-1. メリット

製品含浸タイプは、内装材完成までの加工の順で説明すると、①単板の乾燥、②積層接着、③2次接着、④縦割切断、⑤本実加工、⑥難燃薬剤の注入（減圧加圧）、⑦乾燥である。注入工程は内装材の形になってからであり、注入に関してハンドリングは良い。工場での作業は通常通りである。

2-2. 課題

内装材の形状で、無垢の板材と同様、長さ方向、厚さ方向の薬剤固定量の把握が必要である。固定量の分布を説明するために、材内部を細かく分けた溶脱試験など、多数の試験が必要と考えられる。また、⑦の乾燥後に変形や薬剤の析出があれば、再加工が必要である。

2-3. コスト

課題で記載した、薬剤固定量の把握がネックとなり、そのバラツキを説明できるまでの準備や管理にかかる経費と、本実形状での再加工の経費が上乗せされる。未注入材の製品完成時のコストと比較して、5倍程度になると予測される。

2-4. 色調

表面からも薬剤が注入できるため、その薬剤の性質から色調は茶系で、心材、辺材の差は少ない。

3. 表面塗布タイプ

3-1. メリット

薬剤塗布タイプは、内装材完成までの加工の順で説明すると、①単板の乾燥、②積層接着、③2次接着、④縦割切断、⑤本実加工、⑥薬剤塗布である。注入工程はなく、表面を薬剤でコーティングするのみである。

3-2. 課題

表面を薬剤でコーティングするのみであるが、作業面で時間がかかり、また、厚さの管理が不十分であると準不燃基準を満足できない。また、現場で刷毛では塗布できないため、工場でコーティングする必要がある。

3-3. コスト

工場での作業が必要ではあるが、塗料費と作業費、また、その塗布量の管理費が上乗せされる。未塗装材の製品完成時のコストと比較して、3倍程度になると予測される。

3-4. 色調

薬剤の性質から色調は透明感はあるものの、心材はこげ茶色、辺材は薄黄色で差は大きく、メリハリの利いた色調となる。

6

開発1：単板含浸タイプ

1. 開発概要

1-1. メリット

単板含浸タイプは、3mm程度の単板の内部に比較的簡単に難燃薬剤が注入できるため、積層後には内部まで均質な薬剤固定量が確保される。仮に薬剤固定量が少ない部分、たとえば節などが存在しても、大きく影響を及ぼさない。この均質性が、一番のメリットとなる。

1-2. 課題

内装材完成までの加工の順は、①単板の乾燥、②難燃薬剤の注入（減圧加圧、温冷浴など）、③単板の乾燥、④積層接着、⑤2次接着、⑥縦割切断、⑦本実加工である。このうち②では、割れやすいためハンドリングが難しいこと、③の乾燥に5倍時間がかかること、⑥の切断について、刃物への薬剤付着によりリップソーでは難しいことが掲げられる。

1-3. コスト

上記①から⑦までの工程では、②の注入にかかる薬剤費を除いた経費、③の単板乾燥、⑥の切断で帯鋸を使用することから、未注入材の製品完成時のコストと比較して、4倍程度になると予測される。

1-4. 色調

単板に薬剤を注入し、その薬剤の性質から色調は茶系で、心材、辺材の差が少なく、単調な色調である。

2. 注入試験

大量生産への選択から乾燥単板に減圧加圧を行う方法を採用した。

スギ乾燥単板は、繊維方向が1950mm、繊維直交方向が1300mmの寸法で、この単板が入る圧力容器（直径1200mm、奥行き4000mm）に積み重ねるように110枚入れて行った。薬剤注入条件は、減圧0.098MPaで60分+薬剤注入後60分維持、加圧5.0kg f/cm²で60分、

さらに減圧0.098MPaで20分行った。難燃薬剤はM社製リン・チッソ系化合物である。

一度に注入する単板110枚のうち中心部、外側付近から10枚ずつ単板を抽出し、測定した結果を表2に示す。

実寸単板への注入試験

では、平均で160kg/m³

の薬剤固定量が確保でき

たが、バラツキが大きく、

5%下限値は134kg/m³で

あった。

試験体 N = 89	薬剤固定量 kg/m ³
平均	160
最小値	107
最大値	191
変動係数%	14.8
5%下限値	134

表 6-1 実寸単板注入結果

なお、積み重ねた単板ごとに注入量の差はあるが、積み重ねた中心部の単板と外側の単板に注入量の差はみられなかった（表6-1参照）。

また、1枚の単板内における100mm間隔ごとの薬剤固定量分布の一例を図6-1及び図6-2に示す。薬剤固定量の多少がはっきりしている部分があることが分かった。

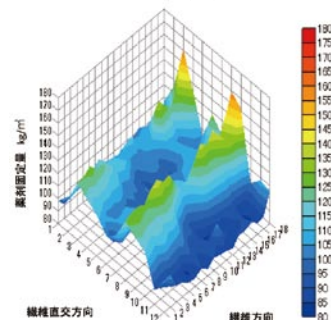


図 6-1 薬剤固定量の少なかった単板内の分布

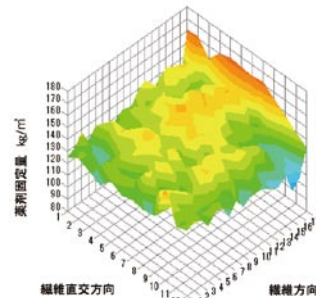


図 6-2 薬剤固定量の多かった単板内の分布

3. コーンカロリメータ試験

準不燃化を目的とする LVL 内装材は、単板に薬剤が固定できても、積層のための接着剤が燃焼性能に影響していたのでは目標達成が難しくなる。そのため接着剤の燃焼特性を調べることにした。

3-1. 炭化範囲の接着剤量の推定

LVL 内装材の表面は、単板の側面（約 3mm）が見える仕様である。このため、コーンカロリメータ試験における表面の接着剤の面積と推定炭化深さにより接着剤量を算出した。

表面の接着剤面積は、表面をスキャナで読み取りその画像上の接着剤部分を黒く塗りつぶして、画像処理を行った。ソフトウェアについては、アメリカ国立衛生研究所（National Institutes of Health : NIH）の国立精神衛生研究所（National Institute of Mental Health : NIMH）、研究支援部門（Research Services Branch : RSB）が開発した、Macintosh 上で動く画像処理解析パブリックドメインソフトウェア「NIH Image」（以下 Image/J）を使用した。この結果、接着層面積は 456.3mm² であることが分かった。

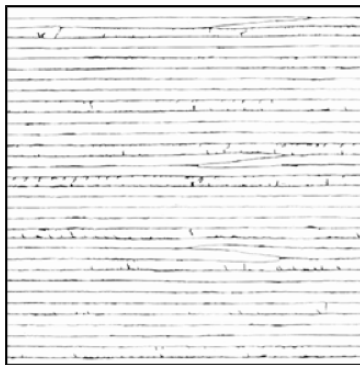


図 6-3 Image/J により二値化した画像

次に未注入の LVL 内装材についてコーンカロリメータ試験を行い、3 か所切断後の平均炭化深さを調べると 11.0mm であった。

これらの結果から、コーンカロリメータ試験で燃焼した接着剤は 5.03cm³（密度換算で 7.04g）と推定された。

3-2. 接着剤の燃焼試験

接着剤（4 種類）のみのコーンカロリメータ試験を、100mm 角の鉄板に接着剤 2.5 g を円形に塗布して各 2 体行った。その結果を表 6-2 に示す。LVL 内装材の 1 次接着はフェノール樹脂であるが、推定発熱量は約 2MJ/m² であり、薬剤注入単板の発熱量を考えると、許容範囲であると考えられる。また、2 次接着に使用するレゾルシ

ノール樹脂は高めであり、2 次接着層が多い場合は、燃焼性能に影響を及ぼす可能性がある。

接着剤種	25g 燃焼 発熱量 MJ/m ²	推定比重	燃焼接着剤量		推定 発熱量 MJ/m ²
			cm ³	g	
フェノール	0.7	1.4	5.03	7.04	1.97
レゾ	2.8	1.4	5.03	7.04	7.89
メラミン	1.5	1.4	5.03	7.04	4.23
水ビ	1.3	1.4	5.03	7.04	3.66

表 6-2 接着剤の推定発熱量

以上の結果から、LVL 内装の準不燃化の可能性があると明らかとなった。

4. 模型箱試験

4-1. 模型箱試験材の製造

単板注入試験と同じ条件で単板に同じ薬剤を注入した。薬剤固定量は、抽出した単板 89 枚あたりの平均で 160kg /m³、最小値は 107 kg /m³、最大値は 191 kg /m³ であった。単板乾燥は 5 回と多くなったものの通常の LVL 製造工程で LVL を製造した。さらに帯鋸で縦割りをして 2 次接着を行い、働き幅 140mm、厚さ 30mm、長さ 2100mm、本実形状は凸部について下幅 11mm、上幅 5mm、高さ 9mm の台形状に加工した。

箱の奥側は、内装材を横方向に積み上げた状態で 6 枚配置した。同様に側面の長い方向に対しても 6 枚積み上げた。天井についても 6 枚を幅方向につないだ仕様であった。なお、各面とも中央部分でバットジョイントとした。写真 6-1 に試験前の状況を示す。

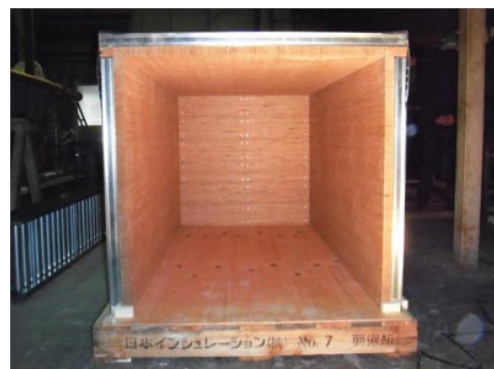


写真 6-1 単板注入 LVL 試験体

4-2. 模型箱試験

試験は 20 分間行い、燃焼状況を観察した。火炎は徐々に広がったものの、急激な進展はなかった。また、試験終了後は自消した。開口上部から、煙は 15 分ぐらいまで多少流出したものの、その量は少なかった。試験の状況を写真 6-2 に、終了後の状況を写真 6-3、6-4 に示す。



写真 6-2 模型箱試験状況



写真 6-3 試験終了後の状況



写真 6-4 解体状況 (右上四角部分火源)

4-3. 試験結果と考察

総発熱量は、5 分後で 14.1MJ、10 分後で 31.1MJ、20 分後で 73.3MJ であった。最高発熱速度は、5 分後で 55.7kW、10 分後で 61.8kW、20 分後 82.1kW であり特に発熱速度が低い傾向であることが分かった。また、防火上有害な変形はなかった。箱内温度も急激な上昇はなかった(図 6-4、図 6-5 参照)。以上の結果から、加熱開始後 10 分間での準不燃の基準には十分適合していた。

なお、火源上部の材の炭化層の厚さは 15mm 程度であり、燃え抜けることはなかった (写真 6-5 参照)。現在では当試験に不燃基準は無いが、仮に 20 分で 50MJ を超えないことを基準とした場合、総発熱量は約 15 分で 50MJ を超えたため、薬剤固定量を増やせば、不燃基準に適合する可能性があることが示唆された。

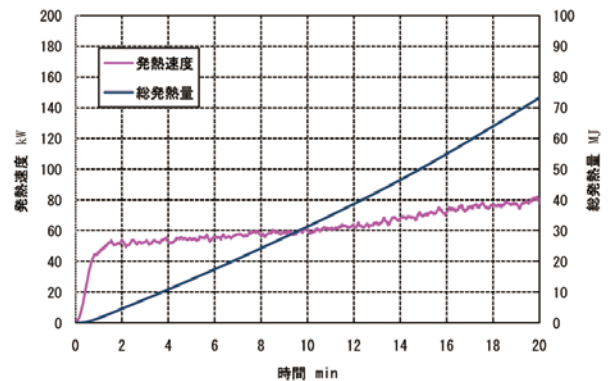


図 6-4 発熱速度及び総発熱量

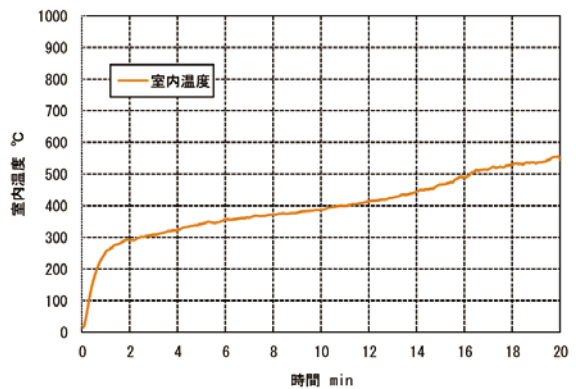


図 6-5 箱内温度



写真 6-5 火源上部の炭化層厚さ

column:

都市木造 第2ステージへ

／東京大学生産技術研究所教授 腰原幹雄



木材会館

都市部に建つ大型の木造建築では、RC造や鉄骨造と同等の性能が要求されます。

構造性能、特に耐震性能についてはLVLに代表されるエンジニアードウッドの登場により材料特性を明確することができるようになったとともに構造解析が行えるようになり、木造建築でも高度な構造設計をおこなうことができるようになりました。

防耐火性能についても、燃えしろ設計による準耐火構造はもちろん、木質耐火部材の開発により耐火構造の木造建築も実現することができるようになりました。また、耐火性能検証法により火災時の建物各部の温度、避難の安全性も予測することができるようになりました。

こうした都市木造に必要な耐火木造建築の技術が整備されはじめたことにより、続々と新しい都市木造が登場し始めました。金沢エムビル(2005/金沢)、丸美産業本社ビル(2008/名古屋)、ウッドスクエア(2012/越谷)で鋼材内蔵型耐火木造、東部地域振興ふれあい拠点施設



四条木製ビル

(2011/春日部)、下馬の集合住宅(2013 予定 / 世田谷区)で一般被覆型耐火木造、そして大阪木材問屋会館(2013 予定 / 大阪)、音の葉カフェ(2013 予定 / 文京区)における燃え止まり型耐火木造とこれまで開発された耐火木造部材の技術が一通り出揃ったこととなります。

都市木造としては、次のステージ、木造らしい都市木造、魅力ある都市木造を考えていかなければなりません。そのためには、仕上げ材が重要になります。都市部の木造建築の外観、内観はどのようなものでしょう。近年、木材を外壁に用いたビルも数多く建築されています。木材会館(2009/江東区)では、あえて周辺のコンクリート同系の色に変化するような試みがされている。四条木製ビル(2008/京都)では、メンテナンスを前提とした下見板とメンテナンスデッキが建物を特徴づけている。浅草文化観光センター(2012/台東区)では、細かいルーバー上の木材が見る角度によって異なる表情を見せている。東部地域振興ふれあい拠点施設、ウッドスクエアでは、ガラスのカーテンウォール越しに木部材が魅せられています。

こうした仕上材としての木材は、工業製品にない経年変化を魅力のひとつとして捉える必要があります。色合いの変化はもちろん、木目の凹凸の変化、老朽化ではなく味わいとしての経年変化を楽しみたい。



浅草文化観光センター

7

開発 2：製品注入タイプ

1. 開発概要

減圧・加圧注入法により、製品化した LVL に薬剤を注入した場合、特に長尺であればあるほど薬剤注入量のバラツキが懸念される。この実験は、そのバラツキがどの程度であるか確認することを目的としている。

難燃薬剤としては、リン酸グアニジン系のノンネン W-200 (丸菱油化工業 (株) 製) を使用し、また、減圧・加圧注入法での注入に関しては、(株) バイオマス科学研究所の協力を得て実験を行った。

実験としては、①積載して注入処理した場合の薬剤注入量の測定、②長さ方向の薬剤注入量の測定の 2 項目に関して行った。

その結果、LVL を、減圧・加圧注入法にて薬剤注入する事に関しては、製品間の注入量の大きなバラツキは見られず、積載による薬剤注入量のバラツキも少なかった。また、長さ 4 m であっても、長さ方向において、大きなバラツキによる薬剤量の不足がないことが明らかになった。

また、模型箱試験による準不燃性の検証を行った結果、10 分加熱で準不燃性能有ることを明らかにした。(10 分時点での変形については、確認できていない。)

2. 注入試験

2-1. 実験準備

試験体には、スギ材の LVL を 24 本用いた。試験体の寸法は、幅 150mm × 長さ 4000mm × 厚さ 30mm であった。

予め、初期重量及び寸法、含水率を測定した後、横に 3 列 × 縦に 8 段積載し、計 24 枚の処理を行った。(図 .1)



図.1 積載の状態

試験体としては、初期比重 (g/cm^3) が、0.495 ~ 0.531 で、平均 $0.508(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、含水率 (%) が、15.8 ~ 19.8 で、平均 17.9 (%) の LVL を使用した。

難燃薬剤は、リン酸グアニジンを主成分とするノンネン W-200 (有効成分 50%品) を使用した。ノンネン W-200 を水で希釈し (重量比 40:60)、有効成分 20% となるように調整した。

薬剤注入量は、含浸処理後、取り出した LVL の重量増加量から算出した。

また、薬剤注入量から実際に有効成分として注入されている薬剤の量を、理論注入量とし、薬剤注入量から算出した。

注入は、(株) バイオマス科学研究所所有の減圧・加圧注入釜を使用した。注入条件として、減圧 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ (0.098MPa) で 1 時間 hold し、その後、薬液を投入し、 $1.0\text{kg}/\text{cm}^2$ (0.098MPa) に戻し、更に 1 時間 hold し、加圧は、 $5.0\text{kg}/\text{cm}^2$ (0.49MPa) で 3 時間行った。

乾燥は、(株) バイオマス科学研究所にて、約 60°C ×

7日間行い、また、100mmカット品に関しては、丸菱油
 化工業(株)にて50℃×5日間行った。

2-2. 積層して注入処理した場合の薬剤注入量の測定

減圧・加圧注入後、24本全ての処理後のLVL重量を
 測定した。以下の式により、処理後の薬剤注入量(kg/m³)
 を算出した。

- ・薬剤注入量(kg/m³)=(処理後のLVLの重量(kg)
 -処理前のLVLの重量(kg))/処理前のLVLの体積(m³)

更に、以下の式により、理論注入量を求めた。

- ・理論注入量(kg/m³)=薬剤注入量(kg/m³)
 ×有効成分濃度(20%)

2-3. 長さ方向の薬剤注入量の測定

LVL重量を測定した試験体のうち、5体を抜き取った。
 抜き取りの場所としては、図.1の左上(A6)、右下(D1)、
 センター部分の2体(C3,C4)とした。

また、薬剤注入量算出後、薬剤注入量が少ない試験体を
 1体抜き取ることとした。

それらの試験体は、未乾燥の状態ですべてより100mm間隔
 でカットし、1体の試験体より39体の試験体を作成した。

重量及びサイズを測定後、薬剤注入量を算出した。
 但し、処理前のLVLの重量は、長尺での初期比重を元に、
 処理後の体積から算出した。

処理前のLVLの重量、及び薬剤注入量、理論注入量は、
 以下の式にて算出した。

- ・処理前のLVLの重量(kg)=初期比重(g/cm³)
 ×カット後の体積(cm³)×1000
- ・薬剤注入量(kg/m³)=(処理後のLVLの重量(kg)
 -処理前のLVLの重量(kg))/処理前のLVLの体積(m³)
- ・理論注入量(kg/m³)=薬剤注入量(kg/m³)
 ×有効成分濃度20%

2-4. 結果

2-4-1. 積載して注入処理した場合の結果

図.1のように、水平方向に3列、垂直方向に8段積載
 した。薬剤注入量は、581～638kg/m³であり、平均
 612.1kg/m³の薬剤注入量であった。

各試験体の薬剤注入量より、理論注入量を算出すると、
 116～128kg/m³であり、平均122.4kg/m³の薬剤注入
 量であった。(図2)

No.	理論注入量kg/m ³	No.	理論注入量kg/m ³	No.	理論注入量kg/m ³
A6	123(1.0)	A4	123(0.4)	A2	126(3.1)
A5	121(-1.0)	A3	123(0.9)	A1	127(5.2)
B6	122(-0.6)	C6	119(-3.8)	D6	117(-5.5)
B5	116(-6.2)	C5	121(-1.3)	D5	119(-3.9)
B4	119(-3.2)	C4	125(2.5)	D4	120(-2.3)
B3	125(2.8)	C3	127(4.3)	D3	124(1.5)
B2	121(-1.7)	C2	124(1.7)	D2	125(3.0)
B1	123(0.8)	C1	125(2.8)	D1	122(-0.5)
平均値				122.4	
標準偏差				3.197	
95%信頼区間				1.004	

図2 理論注入量

薬剤注入量では、平均値からのバラツキが-30.8～
 25.8kg/m³と約57kg/m³のバラツキ幅が見られ、大きな
 バラツキとして感じられたが、実際に、理論注入量に換
 算してみると-6.2～5.2kg/m³となる。この場合の、標
 準偏差を見てみると、3.05となり、大きなバラツキと
 しては感じられない。

LVLの性質上、心材と辺材が混在するために、もう少
 しバラツキが発生する事が懸念されていたが、薬剤の理
 論注入量としては、バラツキが少ないと言えるのではな
 いか。

また、積載することにより、積載時の中心部分での注
 入量の不足が懸念されたが、規則性は見られなかった。積
 載による場所的なファクターは考慮しなくても良いので
 はないかという結果となった。

2-4-2. 長さ方向の薬剤注入量の測定の結果

減圧・加圧注入処理を行った24本の処理材のうち、
 A6、C3、C4、D1の4本について、一方の端部より
 100mm毎にカットし、重量を測定した(39カット)。

薬剤注入量を求めるため、減圧・加圧含浸処理を行った
 直後にカットした。

また、比較的理論注入量の少なかったD6に対しても、
 一方の端部から600mmまでの6カット、センター部分の
 6カット、逆の端部の6カットの合計18カットの重量
 を測定した。

理論注入量に関して、試験体A6では、118～135kg
 /m³、C3では119～131kg/m³、C4では、116～134
 kg/m³、D1では114～123kg/m³、D6では、112～
 123kg/m³の結果となった。

カット品の理論注入量の平均値などを、図.3に示す。

No.	平均値	平均値からのブレ		標準偏差	信頼区間(95%)
	kg/m ³	max kg/m ³	min kg/m ³		
A1	123.18	11.58	-5.03	2.93	0.93
C3	123.10	8.19	-4.35	2.40	0.75
C4	122.15	12.25	-6.29	3.90	1.22
D1	117.75	5.47	-4.21	2.36	0.74
D6	116.58	8.11	-3.86	3.27	1.51

図3 カット品の理論注入量

また、各個体の理論注入量のグラフを、図.4に示す。図.4で解るように両端部で平均値よりも多めに注入される現象が見られるが、端部より500mm内部を見ると比較的安定しているように見える。

この結果より、長さ方向中央部での薬剤量の不足は見られないと考える。

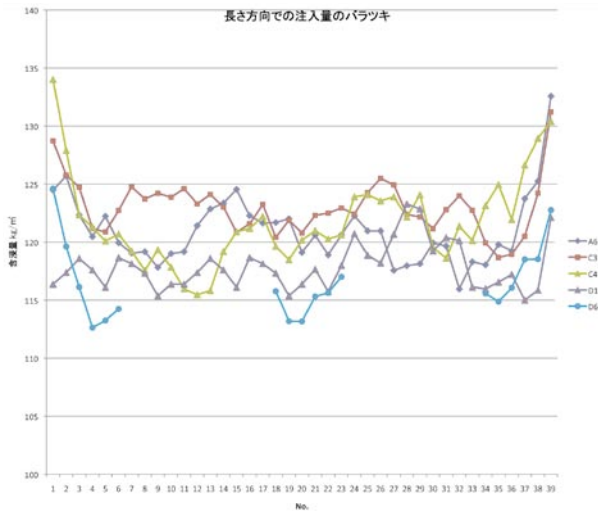


図4 長さ方向での注入量のバラツキ

3. コーンカロリーメータ試験

今回の減圧加圧注入した試験体は、コーンカロリーメータ試験は行っていない。

4. 模型箱試験

今回の減圧加圧注入した試験体は、模型箱試験により評価した。

通常、準不燃試験のため、10分間で行うが、今回はデータ取りとすることで、20分までの加熱試験を行った。

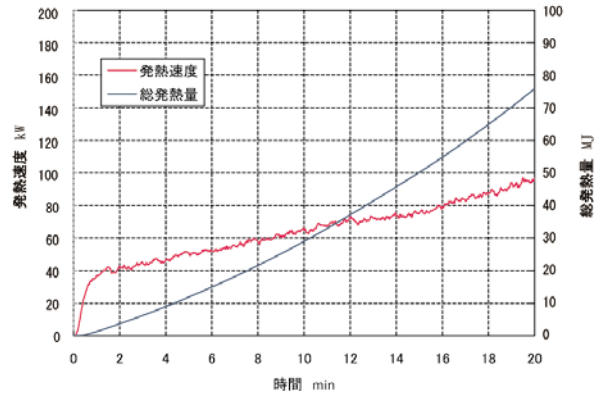


図5 模型箱試験 (発熱速度)

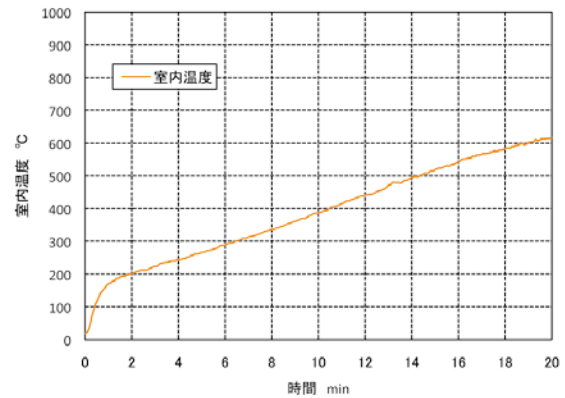


図6 模型箱試験 (室内温度)

試験体	時間 min	総発熱量 MJ	最高発熱速度 kW	防火上有害な変形の有無	発熱速度が連続して140kWを超過した時間 sec
製品注入LVL	5	11.9	51.7	収縮による隙間あり	0
	10	29.0	66.1		0
	20	75.9	96.9		0

図7 模型箱試験 (結果)

5. 考察

今回の試験は、各試験体のサイドマッチング等による初期の比重測定を行っていないため、カットサンプル自身の初期比重を長尺での比重を元に計算している。その為、正確な重量計算値は得られないのだが、カット品での初期比重が一定であったと仮定した場合、多少のバラツキは見られるものの、大きな変動ととらえるまではいえないと考える。

また、今回の試験において、30mm厚のLVL製品を今回の条件で減圧・加圧注入処理を行った場合、理論注入量として、平均120 kg/m³が得られた。同時に、113 kg/m³という理論注入量の下限值も得ることが出来た。

これらの試験体は、模型箱試験によって準不燃性能を評価した結果、発熱量的には準不燃の規格をクリアする性能であるという結果が得られた。(防火上有害な変形の確認は20分後に行ったため10分時点での変形は確認できなかった。)

column:

内装材としてのLVLの可能性

／ビルディングランドスケープ 山代悟

私たちビルディングランドスケープは、LVL 積層面の意匠性の可能性を様々な形で展開し、新築の建築から仮設の構造物、内装など7つの実施プロジェクトでLVLを使用してきました。積層面のもつユニークな表情が自然の木材では得られないものであること、地域材をつかったものの製作が可能であること、B材や間伐材などからも製造可能なことなどがその大きな理由です。またこのような特徴は専門家だけでなく、クライアントやユーザーにもアピールするものであることが各プロジェクトの打ち合わせの過程から分かってきました。

しかしながらLVLという素材への認知度は専門家の中では徐々に高まってきているとはいえ、クライアントやユーザーのなかではまだまだです。これまで多くの場合構造物や下地材として見えない部分で使われたり、比較的使用が容易な個人住宅の中で主に利用されてきたLVLを、公共的な空間の中で積極的に利用していくことでユーザーに認知され、使いたい素材、として覚えてもらうことが重要です。そのためには構造物としてだけではなく、内装材として使用していくことを積極的に考える必要があります。

LVLなど木材を公共空間内装材として使用する際には内装制限などの条件をクリアする必要があり、まだ一般化しているとは言えませんが、ここで二つの実例を紹介したいと思います。

■静岡県清水港のレストラン「はとばキッチン」

「はとばキッチン」は約440平方メートルのビュッフェレストランとフリースペースからなる複合スペースです。清水港のヨットバーバーに面して立地する大型複合施設「エスパルスドリームプラザ」の一階スペースのリニューアルの一環として計画されました。静岡県産の檜や杉をつかったLVLで箱形を約300個つくり、それが積み上げられるようなデザインとしています。今回のような大型商業施設の内装材としてLVLを使



用する場合、無窓居室であったり、大型商業施設独自の安全基準のため、天井を不燃・準不燃材を使用しても、不燃処理をしていない木材を使用することは困難です。今回の場合は有窓の環境であったことと、施設側から家具的な要素であることが認められ使用可能となりました。

■島根県出雲大社参道の観光交流施設「神門通りおもてなしステーション」

「神門通りおもてなしステーション」は出雲大社の参道・神門通りの交差点に面した古い店舗併用住宅を新しいデザインによって生まれ変わらせるプロジェクトです。インテリアの壁には島根県産の杉を使ったLVLを使用し、東側のLVL壁面に凹凸を設け、それをたよりにしてチラシやはがき等をレイアウトすることができるようデザインしました。LVLの積層面は押しピンなども使用可能であることが施設使用者に好評です。



外観は神門通りの修景計画にのっとった伝統建築の姿に修景し、仕上げ材には焼き杉を用いることで、一階のガラス開口部とそこから見える明るいLVLの色彩とコントラストをつけています。

今回は法規制もゆるやかで小規模な施設であったためLVLの使用が容易でした。LVLの準不燃化によって、教育施設、展示施設、観光施設などより大規模な公共空間であっても使用可能になることは、大きな可能性です。今回のこの小さな公共施設はLVLの内装材としての可能性を示していると考えます。

いずれのプロジェクトでも、地域材を使用できるという部分は意義深いものとして理解され、コストのきびしいプロジェクトではありましたが、コスト調整の議論の対象とはならなかったのは印象的でした。今回は不燃化の実現していないなかで使用可能であった実例を紹介しましたが、準不燃化によって様々な公共空間のLVLが使用されることで、内装材としてのLVL、ひいては仕上げをかねた構造物としてのLVLの認知が高まることを期待しています。

8

開発3：表面塗布タイプ

1. 開発概要

LVLの表面に薬剤を塗装することによりLVLを準不燃化することができれば、設備の単純化による生産コストの低減や生産工程の短縮につながる事が予想される。このような観点から表面塗付タイプを開発することとした。

何も塗装していない状態のLVLをISO 5660-1に規定されているコーンカロリメータ法によって試験すると10分間の発熱量は30～40 MJ/m²を超えてしまうため、薬剤塗付タイプでLVLを準不燃化するためには、基材となるLVLそのものに火災による輻射熱を伝えない断熱性が求められることとなる。同時に、塗付厚さが厚いと生産工程が複雑化する、生産そのものに時間がかかるなどの障害が予想されることから、塗付薬剤はできる限り薄膜であることが求められる。また、LVLが持つ意匠を保持するためには塗付薬剤に透明性が求められることから、本研究ではシリケート系を使用することとした。

2. コーンカロリメーター試験

2-1. 塗装仕様

シリケート系薬剤は水に弱いため、これを保護するクリアー層が必要となる。保護クリアー層としてはエポキシ樹脂、アクリル樹脂、シリコン樹脂、ウレタン樹脂など種々の候補が挙げられるが、本研究では水蒸気遮断性の高い塩素化オレフィン樹脂系を使用することとした。塗装断面を図1に示す。

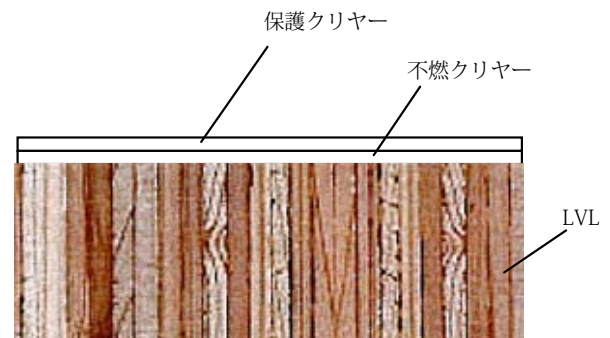


図1 塗装断面図

また、最適な塗付量を確認するため、薬剤の塗付量は2.5、3.0、3.5 kg/m²の3水準とし、保護クリアーの塗付量は0.035 kg/m²に固定した。また、基材となるLVLは積層断面が塗装面となるよう切断し、厚さは30mmとした。

2-2. 試験方法

試験方法はISO 5660-1に規定されているコーンカロリメータ法により10分間加熱を行って、総発熱量(MJ/m²)及び最大発熱速度(kW/m²)を測定することにより行った。試験体は各塗付量につき2体ずつ作製した。

また、コーンカロリメータ法の結果から塗付薬剤の最適塗付量を推測し、模型箱試験を行った。

2-3. 試験結果

試験による総発熱量の結果を表1に、試験中の積算発熱量の推移を図2に、最大発熱速度の結果を表2に、試験中の発熱速度の推移を図3に、試験前後の写真を図4～図9に示す。

表1 総発熱量

塗付量 (kg/m ²)	総発熱量 (MJ/m ²)	
	試験体 1	試験体 2
2.5	2.6	2.2
3.0	4.0	1.3
3.5	0.5	0.4

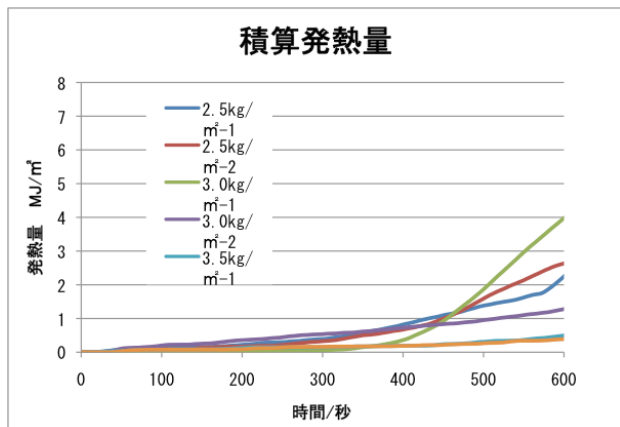


図2 積算発熱量の推移

表2 最大発熱速度

塗付量 (kg/m ²)	最大発熱速度 (kW/m ²)	
	試験体 1	試験体 2
2.5	22.1	14.2
3.0	23.3	6.6
3.5	4.0	3.8

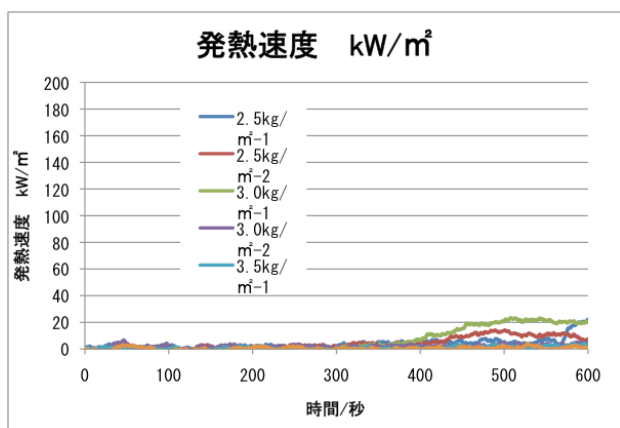


図3 発熱速度の推移



図4 試験前写真



図5 試験後写真

いずれの塗付量も準不燃試験の基準値（発熱量 8 MJ/m²以下、発熱速度 200kW/m²以下）を達成した。今回使用した薬剤は LVL に塗付して十分な性能を発揮していると言える。なお、塗付量 3.0kg/m²の試験体が塗付量 2.5kg/m²の試験体比べて高い総発熱量を示しているが、これは LVL の節が裏面まで貫通していたことにより、薬剤が流れ落ちてしまったことによるものではないかと想像される。このことから、実際の生産では節を埋める必要がある。

外観については LVL の意匠を視認するのに十分な透明性を保持しているが、塗装により LVL がやや褐色に変色する。また、薬剤を LVL に塗付する際に吸い込みむらが生ずる可能性もあることから、LVL と薬剤層との間にプライマー層を挟むことも検討が必要である。このプライマー塗装により薬剤塗付時の LVL 変色を抑制することができる可能性もある。

3. 模型箱試験

コーンカロリメータの試験結果から、塗付薬剤の塗付量を 2.5kg/m^2 として模型箱試験を行った。板間はすべて突きつけとした。模型箱試験の結果を表3に、時間ごとの総発熱量と発熱速度の推移を図6に示す。

表3 模型箱試験の結果

総発熱量 (MJ)	再考発熱速度 (kW)	防火上有害な変形の有無	再考発熱速度が継続して140kWを超過した時間
13.5 (5分間)	57.95 (5分間)	なし	0 (5分間)
42.9 (10分間)	150.44 (10分間)		31 (10分間)

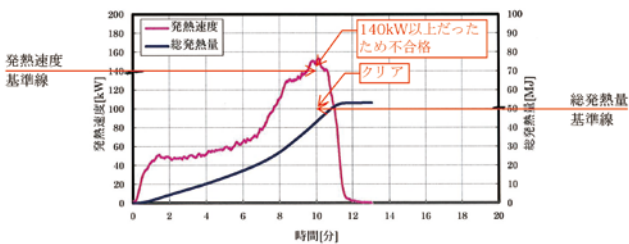


図6 総発熱量と発熱速度の推移



図7 試験後の状態



図8 加熱膨れ



図9 試験後の断面

試験中は可燃性ガスの噴出とみられる火炎が見られた。

試験後の発泡状況は部分的に大きな膨れがあり、板によって発泡倍率に差が見られた。目地については他の部位と比較して炭化の進行度合いに差がないことからあまり影響はなかったものと思われる。

模型箱試験では発泡倍率の違いやコーンカロリメータ法では生じなかった大きな膨れが確認された。今後はこれらの原因を探求するとともに耐久性や生産性の評価を行うこととしたい。

column:

「燃えないこと」と「燃え抜けないこと」

／桜設計集団 安井昇

木材は「可燃物」である。そのため、外部から加熱を受けて、適当な口火があると着火し燃焼する。「燃えること＝悪いこと」と考えられている節があるが本当にそうだろうか。

建築物には、木材以外にも、壁紙やシステムキッチン、洗面台、ソファ、ベッド、衣類、書物など、たくさんの「可燃物」が存在する。これらについては必ずしも建築基準法で規制されているわけではないので、燃えることは仕方なしとされている可燃物と、燃えることに制限を加えている可燃物がありそうである。

建築物に存在する「可燃物」を大別すると、(1) 構造躯体—柱、はり、外壁、床など、(2) 内装—壁、床、天井の仕上げ材、(3) 収納可燃物—システムキッチン、ソファ、家具、書物などとなる。(3) の収納可燃物は、主に居住者・使用者が持ち込むもので、これらを防火的にするのはなかなか難しい。

建築基準法の防火規制では、①居住者・使用者の避難安全、②建物内及び建物間の延焼拡大防止（最終的には市街地火災抑制）を中心に種々の規定が設けられている。①では、内装材料を制限するなど、出火防止や火災初期の内装の延焼拡大防止により、人命安全を確保することにしており、特に延焼経路になりやすい、(2) 内装（特に壁、天井）の仕上げ材について、燃え広がりにくいように規制がされている。すなわち、「燃えないことを良」とした規制である。②では、壁や床が燃え抜けたり、建物が崩壊すると周囲の部屋や周辺建物に延焼する危険があるため、構造躯体が容易に壊れない、燃え抜けないように規制がされている。すなわち、「燃え抜けないこと（壊れないこと）を良」とした規制である。

この2種類の要求性能に対して、可燃物である木材で対応しようとする、まず①については、難燃薬剤（リン酸系やホウ酸系が多い）を木材に加圧含浸し、可燃材料の木材を難燃化したり、木材表面に外部からの加熱を遮り着火温度まで上昇させない塗装（水ガラス系が多い）を施して、難燃材料、準不燃材料、不燃材料等に位置づけることが考えられる。本事業でも、「加圧含新タイプ」「薬剤塗布タイプ」の両方について検討を行っている。難燃化方法、加工方法、経年変化、コストなどが一長一短あるといえる。一方、②については、木材の厚さや太さを大きくし、木材がゆっくりと燃える性質を存分に発揮させることが有効になる。この考えは建築基準法



写真左：LVL 壁の加熱実験の様子（非加熱面）

写真右：加熱実験終了後の加熱面の様子

の準耐火構造柱・はりの燃えしろ設計に導入されているが、簡単にいうと木材を木材で耐火被覆したものである。構造上必要な断面に火災時に燃えるであろう断面を予めふかしておくものであり、大変合理的な考え方であるが、建築基準法では柱・はりにしか導入されていないため、壁や床で同様の考え方をするためには、個別の大臣認定が必要である。LVL については、既往の事業において、150mm厚壁（壁式構造）で、外壁の1時間準耐火構造の大臣認定を取得している。今後、間仕切壁等、バリエーションを増やしていくことも必要になってくるが、技術的な課題は少ないといえる。ただ、もう一ランク上の耐火構造については、火災終了後も部材が壊れないことが求められており、燃焼が自ら停止することが求められる。どれだけ部材断面を大きくしてもゆっくり燃えてなくなるまでの時間を稼げるだけで、自ら消滅するわけではないため、前述の難燃化技術と組み合わせ、燃焼が自ら停止する（燃え止まる）仕組みをつくる必要がある。この耐火構造については、集成材では様々な試みがされており、今後 LVL でも単板を貼り合わせて部材をつくるという製造方法や特徴を考慮した手法での取り組みを進めていく予定である。

9

準不燃材料の性能評価試験とは

準不燃材料に必要な性能は、簡単にいうと「10分間燃えないこと」といえる。この10分間燃えないことを証明する方法として、国土交通大臣認定取得のための性能評価試験では、①コーンカロリメーター試験と②模型箱試験を準備している。多くの性能評価試験では、試験体製作が容易なコーンカロリメーター試験が採用されることが多い。ここではそれぞれの試験方法を比較してみたい（表1）。

コーンカロリメーター試験は、10cm×10cm×実際の厚さの板状の試験体をコーン型の電熱ヒーターを用いて、所定の加熱強度で表面を熱して、口火により着火・燃焼するかを試験体表面付近の酸素濃度測定から発熱速度（単位時間あたりの発熱量）を算出して評価する。試験体が小さいため比較的均質な材料に向けた試験方法といえる。たとえば、難燃処理木材の場合、10cm×10cmの試験体内に小さくない節があると、節部分は表。うまく難燃処理されないことが多いためその節が燃えただけでも判定の規定値を超えることがある。一方、模型箱試験は、小さな部屋（内法で幅84cm×奥行168cm×高さ84cm）の内装（壁・天井）を再現して、部屋の隅で40kW相当のプロパンガスバーナーで出火させて、酸素濃度測定から内装の発熱速度を算出して評価する。内装の表面積は大きくなり、前述の節等による局所的な弱点を全体でカバーすることが可能である。すなわち、難燃性が必ずしも均質でない材料にとっては内装全体で評価できる分、素材の特徴が不利になりにくい試験方法といえる。その反面、コーンカロリメーター試験の

表1 試験方法の比較

	コーンカロリメーター試験	模型箱試験
試験装置外観		
試験体寸法	10cm×10cm	84cm×84cm×168cmが内法の模型箱（壁・天井の仕上げを再現）
試験体数	3	2
加熱方法	コーン型ヒーターで試験体表面に加熱強度50kW/m ² を与えながらスパーク口火を与える	発熱速度40kWのプロパンガスバーナーを模型箱隅角部に設置し出火させる
判定方法	10分間の総発熱量が8MJ/m ² を超えないこと	10分間の総発熱量が30MJ/m ² を超えないこと（火源分20MJを除く）
	10分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂や穴がないこと	10分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂や穴がないこと
	10分間、最高発熱速度が10秒以上連続して200kW/m ² を超えないこと	10分間、最高発熱速度が10秒以上連続して140kWを超えないこと

試験体と比較して、試験体製作に労力と費用がかかる点が短所といえる。ちなみに、いずれの試験方法も評価試験費は64万円で同一である。

国土交通大臣認定取得までの一般的なスケジュールは、性能評価試験実施までの事前打ち合わせ・性能評価書案作成が約2-3ヶ月、性能評価試験用試験体製作（試験機関の立ち会い含む）1-2ヶ月、試験体実施（試験体の養生期間を含む）1-2ヶ月、性能評価委員会及び評価書の発行2-3ヶ月、大臣認定申請・取得2-3ヶ月と、最短でも半年以上がかかり、長ければ着手から大臣認定書取得まで1年以上かかることもある。

すなわち、計画的な性能評価試験の実施、大臣認定取得による実用化が必要といえる。

10

まとめ

本事業では、LVL を建築物の壁・天井に自由に使用できるように、建築基準法の内装制限で要求される性能のうち、もっとも要求性能の高い「準不燃材料（10 分間激しく燃えない材料）」の開発を、①単板含浸タイプ、②製品含浸タイプ、③表面塗布タイプの 3 種類の処理方法について、その発熱特性を知るためにコーンカロリメーター試験及び模型箱試験を実施した。それぞれの技術開発で得られた知見の概要は以下の通りである。

1. 開発で得られた知見の概要

1-1. ① 単板含浸タイプ

- ・ LVL 製作前の単板に難燃薬剤（リン・チツソ系化合物）を平均 $160\text{kg}/\text{m}^3$ 加圧含浸し、その後、フェノール樹脂系接着剤で一次接着して LVL を作成した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（模型箱試験にて性能確認）。

- ・ 単板の一次接着に使用するフェノール樹脂系接着剤の発熱量は $2\text{MJ}/\text{m}^3$ 程度で、LVL の貼り合わせ小口面をあらわしにした場合は、燃焼する接着剤量が減少するため準不燃性能に与える影響は少ない（コーンカロリメーター試験にて性能確認）。

1-2. ② 製品含浸タイプ

- ・ LVL 製作後に難燃薬剤（主成分：リン酸ゲアニジン系）を平均 $122\text{kg}/\text{m}^3$ 加圧含浸した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（模型箱試験にて性能確認）

- ・ LVL 製品への難燃薬剤の加圧含浸であっても、長さ方向の注入ムラを比較的押さえられる可能性がある。ただし、同じ注入量であっても発熱速度にバラツキ出ることがある。

1-3. ③ 表面塗布タイプ

- ・ LVL 製品の表面にシリケート系の塗装を $2.5 \sim 3.5\text{kg}$

$/\text{m}^2$ 程度塗布した場合、準不燃材料以上の性能を確保できる（コーンカロリメーター試験にて性能確認）。ただし、模型箱試験では、表面の塗装に亀裂等が生じて熱分解ガスが発生し準不燃材料の性能が確保できないことがある。

- ・ シリケート系の塗装のシーラーや表面保護塗料の仕様によって、所定の性能が発揮されないことがあり、相性の確認が必要である。

薬剤処理、製品加工、手触り、着色の難易度やコストを考慮すると、現時点では、②製品含浸タイプについて、「準不燃材料」の大臣認定取得が有力であるが、いずれの処理方法も一長一短があるため技術開発については継続的に進めることが望まれる。本事業では、①～③の処理方法で、「準不燃材料」の性能を有する仕様・条件等を明らかにしたが、今後、大臣認定取得など実用化に向けての課題は少なくない。そこで、以下に現時点での課題を整理する。

2. 今後の課題

2-1. ① 単板含浸タイプ及び②製品含浸タイプ

- ・ 単板内の難燃薬剤の断面分布・平面分布の把握

発熱特性を把握するために必要な難燃薬剤の断面的・平面的なバラツキを把握する。なお、単板含浸の場合の断面的なバラツキについては単板厚が 3mm 程度であればほぼないと考えられる。

- ・ 準不燃性能に必要な適切な薬剤含浸量の把握

難燃薬剤の注入量が多いほど発熱量を抑えることができるが、注入量の管理・制御の難易度やコスト上は必ずしも注入量を多めに設定することが適切とはいえない。準不燃性能に必要な最低限の注入量を知り、そこに安全

率を掛けるなどして適切な薬剤量を決定したい。

- ・ 節・割れ等が発熱特性に与える影響の定量的把握

節や割れ等の弱点は発熱量が増大する原因になるため、単位面積あたりの弱点をコントロールする必要がある。弱点ごとに、発熱特性を系統的に把握し、製品管理に反映させる。

- ・ 板材の目地部の形状が発熱特性に与える影響の把握

板地の目地を本ザネや突き付けにするなど、一般部と板部が同じ厚さであれば、目地部が弱点になることが少ないが、合いじゃくりなど目地部が薄くなる場合など、意匠上要求される目地について、その発熱特性を把握し準不燃性能上問題のない仕様を確立する。

- ・ 薬剤処理後の製品加工方法の検討

薬剤処理後の木材を切断、加工する場合、薬剤が刃に与える影響が小さくないため、適切な加工装置を検討する。

2-2. ③表面塗布タイプ

- ・ 適切なシーラー及び表面保護塗料の把握

シリケート系塗装の下地となるシーラー（木材基材の吸い込み抑制）の種類により、シリケート系塗装の発泡状況が変わるため適切な下地処理方法を検討する。また、表面保護塗料は手触り・着色に影響を与えるため、適切な塗料を検討する。

可燃材料である木材を難燃化する技術は、昔から様々な方法が提案されているが、燃えるものを燃えないようにするのはそう簡単なことではない。しかし、本事業ではLVLの製造方法や意匠性を考慮した適切な処理方法に関して、よい見通しが得られたので、市場の意見を聞きながら、引き続き技術開発を進めていきたい。

【プロデュース】

一般社団法人全国 LVL 協会

〒130-0082

東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8 F

TEL: 03-6743-0087 / FAX: 03-5534-3959

info@lvl.ne.jp

www.lvl.ne.jp

【共同研究開発関係者】

委員長：東京大学生産技術研究所 教授 腰原幹雄

防耐火担当：桜設計集団 安井昇

意匠担当、冊子製作：山代悟 + ビルディングランドスケープ

試験指導：広島県立総合技術研究所林業技術センター 藤田和彦

独立行政法人建築研究所防火研究グループ 鈴木淳一

試験協力：広島県立総合技術研究所林業技術センター

技術協力：菊水化学工業株式会社

丸菱油化工業株式会社

発行日 平成 24 年 3 月
編集 一般社団法人全国 LVL 協会
監修 腰原幹雄、安井昇、山代悟
ブックデザイン ビルディングランドスケープ
発行 一般社団法人全国 LVL 協会

〒136-0082

東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8 階

TEL: 03-6743-0087 FAX: 03-5534-3959

E-mail: info@lvl.ne.jp

<http://www.lvl.ne.jp/>

