

新建築基準法に対応した防火処理木材の開発*

穴沢 靖**、中嶋 康***

岩手県産木材の需要拡大を図ることを目的に、新建築基準法に対応した防火処理木材の燃焼性能に与える塗料の影響について検討を行った。その結果、無機塗料を利用することで、防火処理薬剤の減量化を図りながら防火性能を向上させる技術が開発できた。

キーワード：無機塗料、不燃材、コーンカロリメーター

The Development of Fire Retardant Wood Corresponding to The Revised Building Standard Law

ANAZAWA Yasushi and NAKAJIMA Yasushi

For the efficient use of Iwate Prefecture wood, an examination was done about the influence of the coatings to give to the fire retardant wood corresponding the revised Building Standard Law. The technology which improved fire performance could be developed as that result with attempting the loss in weight of the fire retardant medicine by using inorganic coatings.

key words : inorganic coatings, fire retardant wood, cone calorimeter

1 緒 言

木材は、構造材、外装材、内装材等として広く建築物に利用されてきた材料で、人や地球環境に優しい生物資源であるが、燃えやすいという特徴がある。大規模な建築物や不特定多数の人が利用する建築物では、火災が発生した場合、人命への危険性や周辺への被害が広がる可能性が高くなる。

そのため、建築基準法では、初期の火災が拡大する事を防ぐために、その用途、規模などに応じて内装に使用する材料について一定の制限(内装制限)を設けている。

これらの性能を有する材料は防火材料と呼ばれ、不燃材料、準不燃材料、難燃材料として定められている。平成12年6月に建築基準法の改正が行われ、新たにその性能を評価する燃焼試験方法として、総発熱量と最高発熱速度を酸素消費法で計算するコーンカロリメーター試験が規定され、不燃材料が20分間、準不燃材料が10分間、難燃材が5分間の燃焼時間において、総発熱量が8MJ/m²以下であることが防火材料の認定基準となった。

当然、防火性能が大きい材料ほどその用途範囲は拡大されるが、防火処理の製造コストが高くなることから課題となっている。また、防火処理した木材は、空気中の湿気との反応による防火処理剤の噴出や木材表面の肌荒れ等の問題があり、そのまま使用することはできない。

これらの問題を解決するために、塗装による表面処理方法等¹⁾が行われるが、塗装材料のほとんどは石油系の可燃性材料であることから、防火性能を低下させ、性能以上に防火処理薬剤が必要となり、製造コストが高くな

る原因となっている。

そこで、従来よりも低コストでかつ簡易な方法により防火性が最も優れた不燃材料を開発することを目的に、国内では初めてとなる広葉樹(岩手県産シナ材)の防火処理について検討を行ったので、その内容について報告する。

2 実験方法

2-1 供試材料

供試材料として、岩手県産シナ単板(L×R×T=2000mm×6mm×140mm)を防火処理した後、単板を張り合わせて接着し、3層合板(L×R×T=2000mm×15mm×130mm)を作成した。

2-2 供試薬剤

防火処理薬剤は、カルバミルポリリン酸アンモニウムを主成分とするノンネン W2-50(丸菱油化工業株式会社製)を用い、濃度30%水溶液に調整し実験に供した。

2-3 防火処理薬剤の含浸

供試剤への防火処理薬剤の含浸は、温冷浴法²⁾を用い、シナ単板を水中で煮沸(100℃・2時間)した後、防火処理薬剤で浸漬処理(18±3℃・24時間)し、室温で乾風後、オーブンで乾燥(80℃・72時間)を行った。薬剤固定量は、次式により算出した。

$$AC = (W1/V1) - (W0/V0) \quad (1)$$

ここで、AC：薬剤含有量(kg/m³)、W1：処理後乾燥した試料の重量(kg)、V1：処理後乾燥した試料の体積(m³)、W0：処理前の全乾重量(kg)、V0：処理前の全乾時の体積(m³)。

* 基盤的・先導的技術研究事業

** 特産開発デザイン部(現 環境技術部)

*** 岩手県林業技術センター木材部

2-4 供試塗料

市販の木材用透明塗料の中から、溶剤型塗料、水系塗料、自然塗料、無機塗料を用いた。表1に塗料の種類、塗料名及び記号を示す。(以下、塗料名については記号で表記する。) また、塗装は刷毛塗りでを行い、それぞれ3回塗りし、乾燥時間は、1回塗りの後、室温で24時間行った。

表1 供試塗料の種類

種類	塗料名	記号	製造会社
溶剤型塗料	木肌塗料	UP	(株) 斉藤
水系塗料	アクレックス	WP	(株) 和信化学
自然塗料	ノーマルクリア	OP	オスモ
無機塗料	CRB-90	CRB	(株) 日板研究所
無機塗料	GS-50	GS	(株) 日板研究所
無機塗料	GB-53	GB	(株) 日板研究所
無機塗料	GSA-50	GSA	(株) 日板研究所

2-5 塗膜性能試験

JIS K5600 塗料一般試験法、第7部塗膜の長期耐久性、第2節耐湿性(連続結露法)及び第7節促進耐候性(キセノンランプ法)に準拠し、防火処理した塗装試験片の塗膜の耐久性について検討を行った。なお、耐湿試験に用いた試験機は、温度差劣化試験機(スガ試験機(株)製)で、温度50℃、相対湿度95%の条件で行った。また、促進耐候性試験に用いた試験機は、キセノンロングライフウェザーメーター(スガ試験機(株)製)で、降雨条件なしで行い、24時間ごと分光光度計((株)東京電色製)による色差の測定を行った。

2-6 燃焼性能試験

燃焼試験については、国土交通省の認可を受け防火材料の性能評価を実施している機関等が採用している発熱性試験・評価方法に準拠し、Cone2aコーンカロリメーター(ATLAS社製)を用いた。なお、試験条件は、輻射強度50kW/m²、加熱時間10~20分間で、試験開始後10~20分間の総発熱量で燃焼性能を評価した。

2-7 ホルムアルデヒド放散量の測定

防火処理及び塗装した試験片からのホルムアルデヒド放散量について、JIS A1460(2001)建築用ボード類のホルムアルデヒド放散量の試験方法ーデシケーター法に準じて測定を行った。試験条件は以下のとおりで、表2に試験片の作成方法を示す。

(1) 試験片

試験片の1枚の形状を125mm×100mm×15mmとし、木口面及び表裏面の合計面積が、1800cm²に最も近くなるよう6枚の試験片を用い、これを2組作成した。

(2) 養生

試験片を恒温恒湿槽で、温度20±2℃、相対湿度65±5%の標準状態で1週間養生した。

(3) 定量方法

アセチルアセトン吸光光度法

(4) 測定機器

分光光度計 U-3000 ((株) 日立製作所製)

表2 試験片の作成方法

項目	条件
塗料	CRB (アルコキシ金属塩系無機塗料)
塗布回数	プラスチック刷毛で3回塗り
合計塗布量	50g/m ²
塗布間隔	1回目塗布後15分間隔で2、3回目を塗布
試験片	125mm×100mm×1.5mmの形状6枚1組
実塗装面積	1,905cm ² /6枚

3 結果および考察

3-1 塗膜性能の試験結果

本研究における防火処理木材は、建築物の内装材への利用を目的としていることから、塗膜性能としては、光変色や温湿度の変化に対応できる性能が必要である。特に、防火処理薬剤は、空気中の湿気と反応し、白い粉状となり素材表面に噴出する³⁾。従って、防火処理した木材に利用できる塗料には、強い耐湿性能が求められる。

図1に防火処理したシナ材にUP、WP、OP、CRBを塗布し促進耐光性試験を行った結果を示す。

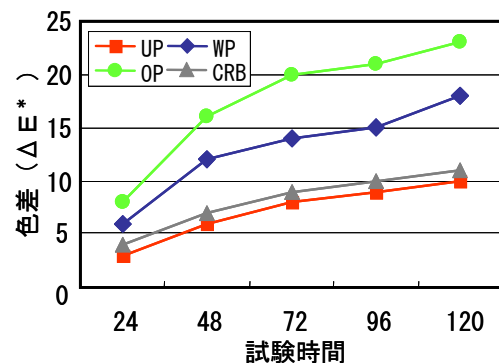


図1 防火処理及び塗装したシナ材の促進耐光性試験結果

いずれの塗料においても48時間までの変色度合いが、通常の木材塗装よりも大きい結果となっており、防火処理薬剤による素材の変色が大きいと思われる。

特にWP、OPでは24時間までの ΔE^* が6~8、120時間で ΔE^* が18~23となっており、耐光性が弱い塗料であることがわかる。

一方、UP、CRBにおいては、120時間で ΔE^* が10~12となり、WP、OPの半分程度の変色度合いであり、比較的に安定した耐光性を示した。

図2に、図1と同様に処理した試験片の耐湿試験を行った結果を示す。WPでは48時間で、OPでは144時間で防火処理薬剤が塗面に噴出し、耐湿性が弱い結果となった。

一方、UP、CRBでは240時間でも薬剤の噴出は見られず、強い耐湿性を示し、通常の室内環境であれば問題なく利用できる結果となった。

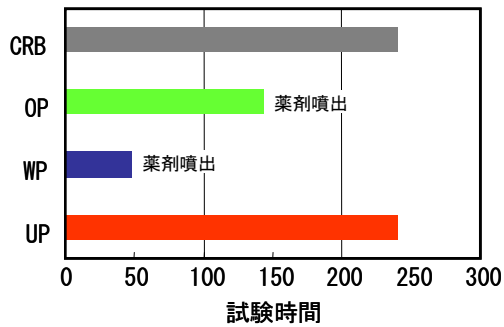


図2 防火処理及び塗装したシナ材の耐湿試験結果

3-2 塗料の種類による燃焼性能試験結果

本試験方法は、円錐形をしたヒーターから一定強度の輻射熱を試験体に与えた状態で加熱し、発生したガスがスパークプラグの火花で着火した際に、その発熱速度を酸素消費量で計算する方法である。本試験方法における防火材料の基準としては、試験開始後5～20分間の総発熱量が、 $8\text{MJ}/\text{m}^2$ 以下、加熱開始後5～20分間、防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がないこと及び最高発熱速度が10秒以上継続して $200\text{kW}/\text{m}^2$ を超えないことが定められている。

図3に防火薬剤処理した未塗装試験片における10分間の燃焼試験結果を示す。総発熱量及び発熱速度ともに前述した防火材料としての基準を満たす結果となっている。薬剤含有量は $274\text{kg}/\text{m}^3$ で、今回使用した防火処理薬剤や素材において、これ以上の薬剤含有量であれば、防火材料としての基準を十分に満たす薬剤含有量である。

図4～7に、図3と同量の薬剤を含有させた試験片に、それぞれUP、WP、NP、IOPを塗布し、防火薬剤処理した木材の塗装による燃焼性能への影響について検討した結果を示す。

図4、5のUP、WPにおいて、試験開始後1分までの発熱速度が急激に増加し、それ以降、未塗装試験片と同じ速度となった。また、発熱総量は、基準値の $8\text{MJ}/\text{m}^2$ 付近まで増加した。UP、WPに比べ変化は少ないが、図6のOPにおいても、試験開始後1分までの発熱速度と発熱総量が増加した。UP、WPの主成分は、可燃性の石油系合成樹脂で、OPの主成分樹脂は可燃性の植物性油あることから、試験開始後1分間で塗膜が燃焼してしまうことにより、発熱速度が増加し、総発熱量に影響与えている。更に、燃焼試験を継続すれば、明らかに基準の総発熱量を超えてしまうことが予想され、これらの塗料では防火性能を低下させることがわかる。

図7のCRBにおいては、試験開始後の発熱速度の増加は見られず、発熱総量は未塗装試験片の約半分の値となる $3\text{MJ}/\text{m}^2$ まで低下した。防火薬剤処理せずCRBのみ塗布して、燃焼試験を行っても、木材単独で燃焼した時と同じ発熱速度や発熱総量となる。CRBは他の塗料塗と異なり無機材料であることから、耐熱性に優れており、外部からの熱

を遮断し防火薬剤の温度上昇速度を抑制する効果や木材中から発生する可燃性ガスを封じ込める効果があるものと考えられる。また、燃焼を継続させても発熱総量が基準値よりも低くなることが予想され、防火性能の向上を図れる可能性があることがわかった。

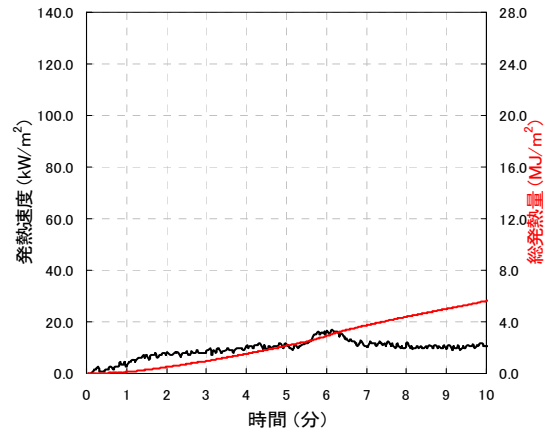


図3 防火薬剤処理した未塗装試験片の燃焼試験結果

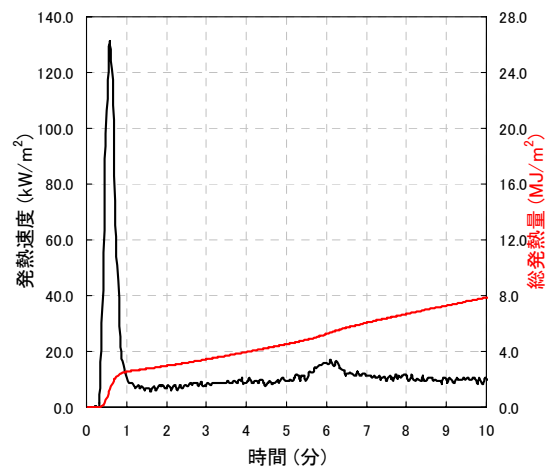


図4 防火処理及びUPを塗布した試験片の燃焼試験結果

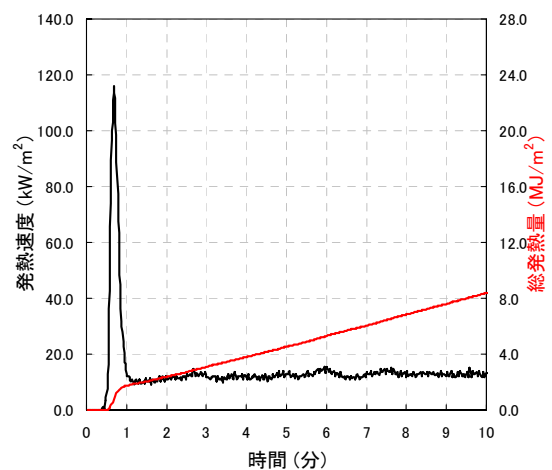


図5 防火処理及びWPを塗布した試験片の燃焼試験結果

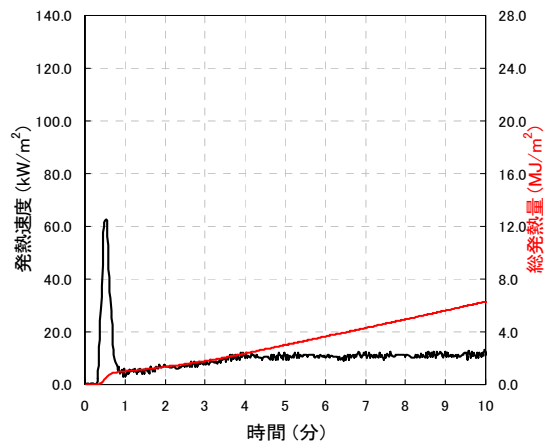


図6 防火処理及びOPを塗布した試験片の燃焼試験結果

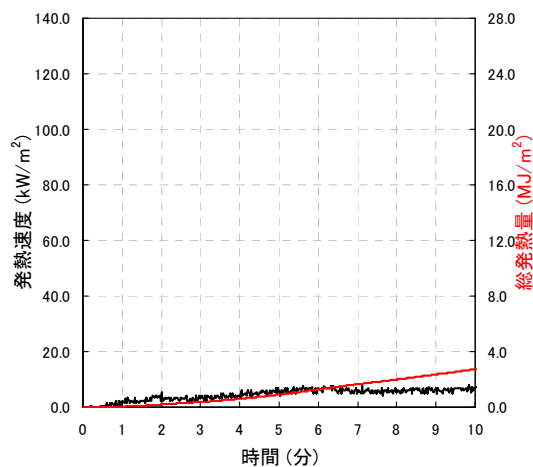


図7 防火処理及びIOPを塗布した試験片の燃焼試験結果

3-3 無機塗料による燃焼性能試験結果

同じ薬剤含有量でも無機塗料が防火性能の向上が図れることがわかったことから、無機塗料の種類による燃焼性能について検討を行った。無機塗料は、水性金属塩系、アルコキシ金属塩系、有機塗料とのハイブリッド系に分類されている。水性金属塩系は親水性の塗膜を形成するため木材用には適さないことから、本実験においては、アルコキシ金属塩系(CRB,GS)とハイブリッドタイプ(GB,GSA)を用いて燃焼試験を行った。それぞれ主成分は、GSが SiO_2 、CRBが SiO_2 、 Al_2O_3 、Ag、また、GBが SiO_2 、 Al_2O_3 とブチラル樹脂、GSAが SiO_2 、 Al_2O_3 とアクリル樹脂である。試験時間は、防火材料のうち、不燃材料の基準時間である20分に延長して燃焼試験を行った。薬剤含有量は前試験と同量である。

図8に4種類の無機塗料を塗布し、燃焼試験を行った結果を示す。総発熱量は、CRBで 2.8MJ/m^3 、GSで 3.08MJ/m^3 、GBで 3.48MJ/m^3 、GSAで 5.08MJ/m^3 となり、試験時間を倍の20分間にしたにもかかわらず、4種類すべてが不燃材料の基準である 8MJ/m^3 以下となった。アルコキシ金属塩系の2種類の塗料よりもハイブリッドタイプの2種類の

塗料の方が、総発熱量の値は高い傾向を示した。含まれる石油系樹脂の影響によるものと考えられる。

図9に薬剤含有量を変化させCRBを塗布した試験片の燃焼性能試験結果を示す。薬剤含有量は、0、80、113、140、169、204、 215kg/m^3 の7段階である。 169kg/m^3 以上の薬剤含有量で防火材料の総発熱量の基準(8MJ/m^2)以下となる結果が得られた。

しかし、 169kg/m^3 では基準値に近すぎ安全面で問題が残る。従って、 204kg/m^3 以上であれば十分に不燃材料の基準を満たすことがわかる。従来の不燃材料の製造技術においては、防火処理薬剤を 300kg/m^3 以上含ませている材料がほとんどである⁴⁾ことから、CRBのような無機塗料を塗布することによって、防火処理薬剤を2/3程度まで減量化できることがわかった。

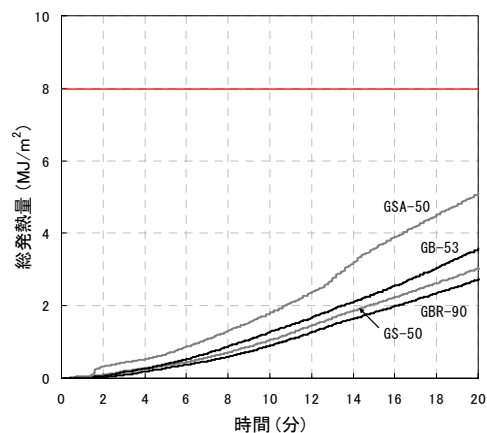


図8 防火処理及びWPを塗布した試験片の燃焼試験結果

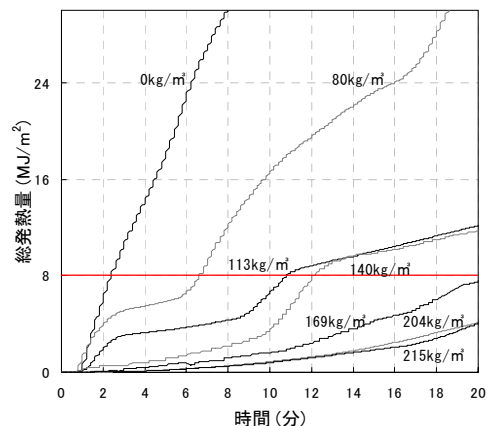


図9 防火処理及びWPを塗布した試験片の燃焼試験結果

3-4 ホルムアルデヒド放散量の測定結果

気中に放散されたホルムアルデヒドは、比較的低濃度でも健康影響のおそれがある。室内空気中のホルムアルデヒド濃度に対しては、世界保健機構(WHO)ほか日本の厚生労働省がガイドライン値($100\mu\text{g}/\text{m}^3=0.08\text{mg}/\text{l}$)を定めている。従って、内装材等の建築用ボード類は、製造過程で用いられる化学物質などによって室内空気中のホルムアルデヒド汚染の原因となるおそれがあり、気中放

散量などに対して管理が求められている。そこで、前述した不燃木材として防火性能の基準を満たすことができるシナ材からのホルムアルデヒド放散量の測定を行った。薬剤含有量は $204\text{kg}/\text{m}^3$ で、塗料はCRB（無機塗料）を用いた。

検量線は、JIS A1460(2001)8.7 検量線の作成方法に規定するアセチルアセトン吸光度法に準じて行った。低濃度域であり、吸光度が小さいため測定回数を3回行い、その平均値の Abs 値を用い検量線を作成した。測定結果を表3、図10に示す。

標準液の測定から求めた検量線の傾きは、 $F=7.66\text{mg}/\ell/\text{Abs}$ である。また、検量線の最低濃度である $0.02\text{mg}/\ell$ は、十分に定量可能であったことから、その濃度を試料溶液の測定定量下限値とした。試験片のデシケーター内のガラス結晶皿中の水に吸収されたホルムアルデヒドの濃度は、次式によって計算される。

$$G=F \times (A_d - A_b) \times 1,800/S \quad (1)$$

ここで、G：試験片のホルムアルデヒド濃度 (mg/ℓ)、 A_d ：試験片を入れたデシケーター内の溶液の吸光度、 A_b ：バックグラウンドのホルムアルデヒドの吸光度、F：ホルムアルデヒド標準溶液の検量線の傾き (mg/ℓ)、S：試験片の表面積 (cm^2) である。

試料液については、その平均 (Abs) 値から濃度を算出した。測定結果を表4に示す。試料液の平均濃度は $0.0033\text{mg}/\ell$ となり、明らかに定量下限値以下である。従って、試験片のホルムアルデヒド濃度は、 $0.02\text{mg}/\ell$ 未満であり、世界保健機構 (WHO)、厚生労働省のガイドライン値以下であり、ホルムアルデヒド汚染原因とはならない材料であることが確認できた。

表3 検量線の測定（標準液の測定）結果

濃度 (mg/ℓ)	吸光度 (水対照)			
	1	2	3	平均
0	0.0086	0.0092	0.0092	0.0090
0.02	0.0126	0.0120	0.0117	0.0121
0.05	0.0152	0.0159	0.0149	0.0153
0.10	0.0220	0.0215	0.0218	0.0218
0.20	0.0365	0.0358	0.0355	0.0359
0.30	0.0481	0.0478	0.0478	0.0479

表4 測定結果 (20℃・24時間放散試験)

		デシケーター No. 1	デシケーター No. 2	平均
吸光度 (水対照)	Ad	0.0071	0.0070	
	Ab	0.0066	0.0066	
検量線の傾き F		7.66		
試験溶液濃度 (mg/ℓ)		0.02 未満	0.02 未満	
試験片表面積 S (cm ²)		1,905	1,905	
濃度 G (mg/ℓ)		0.0036	0.0029	0.0033

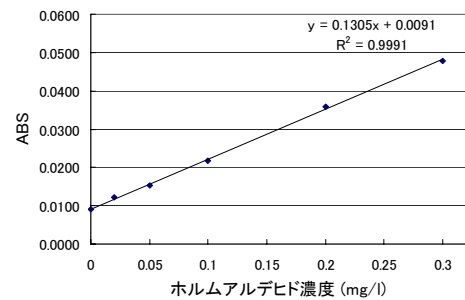


図10 検量線の作成結果

4 結 言

温冷浴法で防火処理した木材の燃焼性能等と与える塗料の影響等について検討し、以下の結果が得られた。

- (1) 木肌塗料及び無機塗料は、水性塗料や自然塗料よりも、経時変化（耐湿試験、促進耐光性試験）による防火薬剤の噴出や変色に対し耐久性がある。
- (2) 無機塗料は、石油系樹脂や植物性油を主成分とする塗料よりも燃焼性能（総発熱量）を抑制することができる。
- (3) アルコキシ金属塩無機塗料は、ハイブリットタイプ無機塗料よりも燃焼性能（総発熱量）を抑制する効果がある。
- (4) 薬剤固定量を $204\text{kg}/\text{m}^3$ 以上含浸させた木材にアルコキシ金属塩無機塗料を塗布すると、不燃材料の燃焼性能基準を満たす防火材料となる。
- (5) (4)の防火材料のホルムアルデヒド放散量は、厚生労働省の定めるガイドライン値以下となり、安全な内装材として利用できる。

以上のことから、これまで温冷浴法による簡易な含浸処理等では不可能とされていた不燃木材が、アルコキシ金属塩無機塗料を塗布することによって、薬剤固定量の減少化及び防火性能の向上が図れ、これまでよりも低コストで安全な不燃木材の製造技術が開発できた。

なお、本技術は、「不燃木材の製造方法」として特許出願（特願 2005-48318）済みであり、（合）ヤマゼン木材（岩手県山形村）に技術移転され、国土交通大臣認定（QM-0301）を取得、商品化が図られている。

文 献

- 1) 穴沢 靖, 谷内 博規, 高橋 民雄, 浪崎 安治, 有賀 康弘：岩手県工業技術センター研究報告, 5, 89-94 (1998)
- 2) 谷内 博規, 穴沢 靖：岩手県林業技術センター研究報告, 8, 9-14 (1999)
- 3) 谷内 博規, 穴沢 靖：「難燃材の塗装と防火性能について」, 日本木材学会大会研究発表要旨集, 649 (1998)
- 4) 中嶋 康, 穴沢 靖, 原田 寿郎：「防火処理木材の発熱性に及ぼす塗装条件の影響」, 日本木材学会大会研究発表要旨集, 678 (2005)