

難燃化処理した赤松材の塗装適正

穴沢 靖*、谷内 博規**、高橋 民雄***、浪崎 安治***、有賀 康弘***

県産木材の用途拡大を図ることを目的に、赤松材の難燃化処理およびその塗装適正について検討した。その結果、難燃化処理した赤松材は、150~200kg/m³ 程の薬剤固定量で、塗料の種類や塗布量に関係なく難燃材料の基準を満たす性能が得られた。また、難燃化処理した赤松材の塗装において、素材感を損ねず、経時変化による薬剤の噴出や変色等を最も少なくすることができる塗料は、2液型ポリウレタン樹脂塗料であった。

キーワード： 塗装、赤松材、難燃化処理木材

Coating Propriety of The Fire-Retardant-Treated Softwood

ANAZAWA Yasushi , TANIUCHI Hironori , TAKAHASHI Tamio
NAMIZAKI Yasuji and ARUGA Yasuhiro

For the efficient use of softwood, the fire-retardant process and suitable coating material are examined. The treated Red Pine is satisfied with a criterion of fire-retardant material at medicine fixed quantity in 150 ~ 200 kg/m³, without relation to a kind and ammount of paint. quantity of paint . It was Polyurethane Resin Coating of 2 liquid type that a kind of paint without loss of feeling and color of material itself.

key words : coating , Japanese Red Pine , Fire-Retardant-Treated Wood

1 結 言

林業技術センターでは、県産木材の需要拡大を図るため、公共性の高い建築物、例えば病院や博物館等の内装材（天井、壁等）として利用できる難燃化処理木材について、JIS-A-1321の難燃3級の性能を満たすことのできる赤松材の処理条件等についての検討を行ってきた。

難燃化処理木材を公共施設等の内装材として利用する場合、防火性能は当然のことながら、針葉樹特有の素材感（美装性）や耐久性も要求される。しかし、難燃化処理したままでは、空気中の湿度との反応による難燃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が考えられるが、塗装材料のほとんどは可燃性であり、難燃性能を低下させたり、発煙量の増加等の問題が新たに考えられる。

そこで、塗料が難燃化処理木材の防火性能へおよぼす影響、難燃化処理薬剤および塗料による変色、塗装による耐久性等について、林業技術センターと共同で検討を行ったので、その内容について報告する。

2 実験方法

2-1 供試材

供試材料は、寸法 L×R×T=220×15×110 mmの岩手県産赤松材の辺材を調整し、オープンで乾燥（105℃・48 hrs）したものをを用いた。

2-2 供試薬剤

難燃処理薬剤は、ポリリン酸カルバメートを主成分とする市販のリン系薬剤を用いた。

* 化学部

** 岩手県林業技術センター 木材部

*** 木工特産部

2-3 温冷浴法による薬剤含浸

供試材への薬剤の含浸は温冷浴法を用い、赤松材辺材を水中で煮沸(100℃・3hrs)し、難燃薬液(濃度11.0~55.0%)に浸漬(18±3℃・24hrs)し、室温で風乾(18±3℃・24hrs)した後、オープンで乾燥(60℃→80℃→105℃・それぞれ24hrs)を行った。薬剤固定量は次式の式により算出した。

$$C = (V_0 - W_0) / (V_1 - W_1)$$

C : 薬剤固定量 (kg / m³)

W₀ : 未処理重量 (kg) W₁ : 未処理体積 (m³)

V₀ : 処理後重量 (kg) V₁ : 処理後体積 (m³)

2-4 供試塗料及び塗装

市販の木材用透明塗料の中から、水系塗料1種類、溶剤系塗料5種類の計6種類を用いた。表1に種類、塗料名および記号を示す。(以下、塗料名については記号を用いて記す。)なお、下塗りにはそれぞれ専用のサンディングシーラーをエアスプレー塗装し、24hrs乾燥の後、#320研磨紙にて空研ぎを行い、それぞれ上塗り塗料をエアスプレー塗装した。

2-5 燃焼試験

建築材料燃焼性試験装置を用いて、JIS-A-1321の難燃3級に準拠して行った。なお、表面試験における燃焼性の評価は表2の基準により行った。

表1 塗料の種類、塗料名および記号

種 類	塗 料 名	記 号
可 燃 性 塗 料	ニトロセルロースラッカー	NC
	2液型ポリウレタン樹脂塗料(汎用塗料)	UP
	2液型ポリウレタン樹脂塗料(木肌塗料)	UT
防 火 塗 料	防火塗料(反応型)	FR
	防火塗料(発泡型)	FU
	難燃水溶液(水性浸透タイプ)	NF

表2 難燃材料の評価基準

評 価 項 目	判 定 基 準
残煙時間 (After flame time)	自己燃焼性の指標で30秒以下
発煙係数 (Smoke generation coefficient)	発煙性の指標で基準は120以下
着火時間 (Exhaust temperature-rise)	着火性の指標で基準は3分以上
温度時間面積 (Heat generation)	発熱量の指標で基準は350以下

2-6 木材塗装表面の反射特性および測定

難燃化処理木材の塗装表面の反射特性について、ゴニオフォトメーター(三次元変角高度計)による反射光分布の測定を行い、素材表面と塗装表面の反射光分布の比較を行った。

2-7 促進耐候性試験および耐湿試験

難燃化処理および塗料による赤松材の変色について、JIS-K-5400 9.8促進耐候性試験を行いながら、分光光度計による色差の測定を行った。また、JIS-K-5400 9.2耐湿試験を行い、難燃化処理木材の耐久性について検討を行った。

3 実験結果および考察

3-1 塗布量と燃焼性能

未処理木材に対し、可燃性塗料(NC、UP、UT)と防火塗料(FU)をそれぞれ塗布し、その塗布量と燃焼性能の比較を行った。

図1に塗布量と残煙時間の関係を示す。可燃性塗料では、その塗布量と残煙時間煮は関係は見られないが、防火塗料では、その塗布量が0g/m²、68g/m²、110g/m²と増加するのにもない、残煙時間は459秒、249秒、159秒と減少傾向を示す。

図2に塗布量と発煙係数の関係を示す。可燃性塗料では、その塗布量が増加するのにもない、発煙係数も増加する傾向で、塗布量149g/m²で発煙係数158を示す。防火塗料では、塗布量が0g/m²、68g/m²、110g/m²と増加するのにもない、発煙係数は120、112、93と減少する傾向を示す。

図3に塗布量と着火時間の関係を示す。可燃性塗料においては、その塗布量が0g/m²、37g/m²、99g/m²、149g/m²と増加しても、着火時間は58秒、58秒、40秒、47秒とあまり大きな変化は見られない。防火塗料では塗布量が、0g/m²、68g/m²、110g/m²と増加するのにともない、着火時間も58秒、125秒、200秒と増加する傾向を示す。

図4に塗布量と温度時間面積の関係を示す。可燃性塗料では、その塗布量が0g/m²、37g/m²、99g/m²、151g/m²と増加しても、温度時間面積は691.19℃・min、626.54℃・min、703.13℃・min、722.67℃・minとなり、塗布量と温度時間面積の間に関係は見られない。防火塗料では、その塗布量が0g/m²、68g/m²、110g/m²と増加するのにともない、温度時間面積は691.19℃・min、320.73℃・min、239.17℃・minと減少傾向を示す。

以上、未処理赤松材への防火塗料による塗装は、ある程度、防火性能を付与するが、建築基準法に示す難燃材料の基準は満たすことができない。また、可燃性の塗料は発煙係数が若干増加するが、無塗装試料と比べて、あまり燃焼性能に影響を与えないことがわかる。

3-2 薬剤固定量と燃焼性能

難燃化木材を製造し、塗装を施すことを想定した場合、塗料の種類によっては難燃材料としての防火性能を発現させるのに必要な薬剤固定量が異なることが考えられる。そこで、難燃処理を行った試料にそれぞれ可燃性塗料（NC、UP、UT）と防火塗料（FU）を塗布し、薬剤固定量と燃焼性能の関係について検討した。

図5に塗料別の薬剤固定量と残炎時間の関係を示す。薬剤固定量が低いとき（0～100 kg/m³）は、防火塗料を塗布した試料の残炎時間は若干低い、全体的に見ると、塗装の有無、種類によらず薬剤固定量の増加とともに残炎時間は減少傾向を示す。また、150kg/m³の薬剤固定量を有する試料の残炎時間はほとんど0となり、残炎時間が30秒以下という難燃材料の基準を満たす。

図6に塗料別の薬剤固定量と発煙係数の関係を示す。可燃性塗料を塗布した試料は、薬剤固定量0～150 kg/m³の間で、発煙係数は若干高い値を示すが、薬剤固定量が200kg/m³以上で、発煙係数は25～70の値を示す。残炎係数は120以下であり、薬剤固定量30kg/m³以上で塗装の有無、種類によらず難燃材料の基準を満たす。

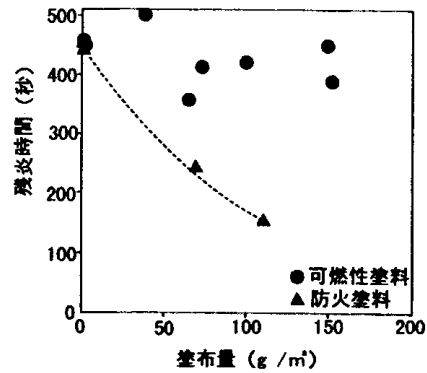


図1 塗布量と残炎時間の関係

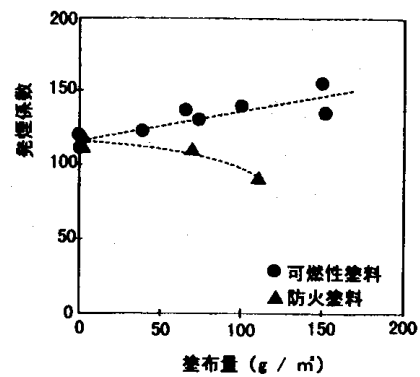


図2 塗布量と発煙係数の関係

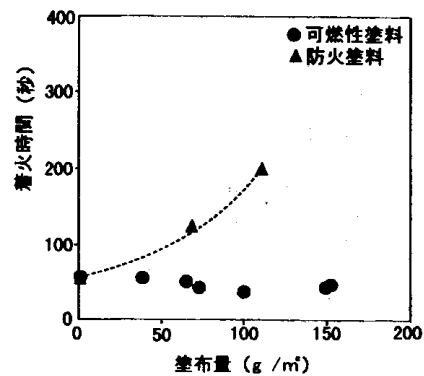


図3 塗布量と着火時間の関係

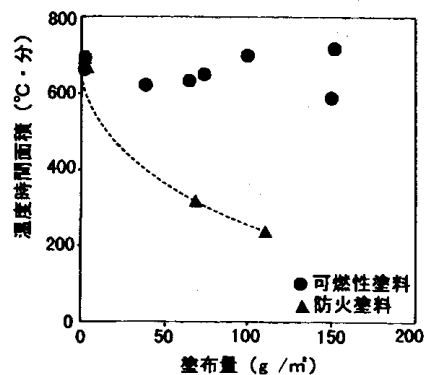


図4 塗布量と温度時間面積の関係

図7に塗料別の薬剤固定量と着火時間の関係を示す。薬剤固定量 0~100kg/m³の間では、無塗装、防火塗料を塗布した試料に比べ、可燃性塗料を塗布した試料では着火時間が短い。しかし、薬剤固定量が 100kg/m³以上では塗装の有無、種類によらず着火時間は 180秒以上を示し、難燃材料の基準を満たす。

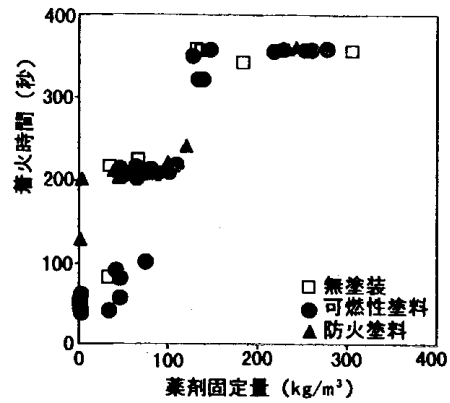


図7 薬剤固定量と着火時間の関係

図8に塗料別の薬剤固定量と温度時間面積の関係を示す。防火塗料を塗布した試料は低い薬剤固定量 (0~40kg/m³) のとき、温度時間面積は無塗装、可燃性塗料を塗布した試料に比べ低い値を示すが、薬剤固定量の増加とともに、塗装の有無、種類によらず温度時間面積は減少し薬剤固定量150kg/m³以上では温度時間面積は0となり難燃材料の基準を満たす。

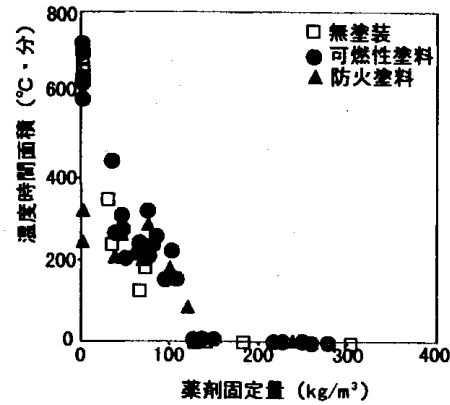


図8 薬剤固定量と温度時間面積の関係

これらのことから、赤松材の辺材は温冷浴法で難燃処理を行い、薬剤固定量が 150kg/m³以上確保できれば、塗装の有無、種類によらず難燃材料の基準を満たすことが可能であると考えられる。

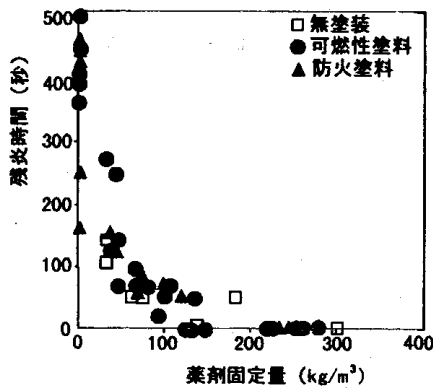


図5 薬剤固定量と残炭時間の関係

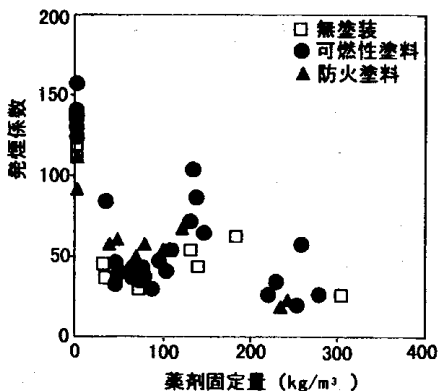


図6 薬剤固定量と発煙係数の関係

3-3 難燃処理木材表面の反射光分布

図9に難燃化处理した赤松材表面の反射光分布をゴニオフォトメーターで測定した結果を示す。測定条件は木目方向に投光し、入射角45°、あおり角 0°である。

反射光分布の形状は、木目方向に投光しているにもかかわらず、受光角45°の鏡面反射はほとんどなく、受光角全域で光を散乱しており、ほぼ球状となっている。通常の木材表面の反射光分布の形状は、樹種によっても多少の違いはあるが、木目に沿った繊維方向での鏡面反射による尖ったピークと凹形の細胞内孔面での光の散乱により、受光角45°の尖ったピークと45°以外の受光角では楕円形の反射光分布を示すのが特徴となっている。このことから、難燃化处理した赤松材表面は、難燃処理薬剤や水分、また、その後の強制乾燥等の影響により、木材繊維の毛羽立ち量が多くなっていることがわかる。

図10に難燃化处理した赤松材をNC、UP、UT、FR、FU、NFで塗装した表面の反射光分布を測定した結果を示す。NC、UP、FUでは、凹形の細胞内孔による光の散乱の影響もなくなり、受光角45°付近の鏡面反射による尖ったピークの反射光分布だけとなってい

る。これらの反射光分布は、プラスチックや金属表面の反射光分布の特徴によく似ており、難燃処理した赤松材表面の反射光分布と明らかに異なっていることがわかる。

また、FRの反射光分布は受光角45°に傾いた楕円状の反射光分布を示しており、UT、NFにおいては、ほぼ球状に近い反射光分布で、難燃化処理した赤松材の反射光分布とほとんど同じ反射光分布を示す結果となり、肉眼で比較した場合でも、ほとんど木材の素材感を損ねない状態となっている。反射光分布が良く近似する原因として、FRにおいては、防火性能を出すための難燃剤として使用されるクレー、タルク、アスベストなどの顔料成分が多量に含まれていること、UTではプラスチックビーズが塗料中に混入されていることから、それらが凸形の塗膜表面を形成することにより、難燃化処理した赤松材表面の反射光分布と良く似た反射光分布を示すためと考えられる。また、NFは、水性の浸透タイプであり、造膜タイプでないことから、難燃化処理したままの表面状態となっているために、反射光分布はあまり変化を示さないためと考えられる。

これらのことから、NC、UP、FUよりも、FR、UT、NFの方が、赤松材特有の素材感を残したまままで塗装仕上げを行うことができると考える。

3-4 難燃化処理した赤松材の変色

図11に塗料の濡れ色による難燃化処理木材の変色について、分光光度計による色差の測定結果を示す。塗料の濡れ色による変色で、 ΔE^* が最も小さい値を示すのはNFで $\Delta E^*=1.9$ 、次いでUTが $\Delta E^*=4.2$ 、FRが $\Delta E^*=8.8$ 、FUが $\Delta E^*=10$ 、NCが $\Delta E^*=11.4$ で、UPが $\Delta E^*=13.6$ となっている。通常、無処理木材の塗装における塗料の濡れ色による変色は、 $\Delta E^*=1\sim 5$ 程度の変化であることから、難燃化処理した木材の塗装においては、塗料の種類によって、難燃化処理の影響を大きく受けることがわかる。この結果から、NFやUTで塗装することにより、難燃化処理木材の塗料の濡れ色による変色を最小限に押さえることができると考える。

図12に促進耐候性試験における変色について、色差の測定から、耐光性の評価を行った結果を示す。FRは難燃化処理前後の色差の測定を行った結果で、 $\Delta E^*=3\sim 4.9$ の変化を示しており、難燃化処理だけでもかなり変色することがわかる。また、WCは、図11に示した塗料の濡れ色による変色で、 $\Delta E^*=6.7\sim 16.2$ の変化を示している。この2つの色差の変化から、塗装仕上げまで行った難燃化処理木材は、塗料の種類によって変色の度

合いが大きく異なることがわかる。塗装仕上げした難燃化処理木材に25、50、100、150時間の促進耐候性試験を行うと、 $\Delta E^*=7.5\sim 25$ 、 $\Delta E^*=10.1\sim 26.7$ 、 $\Delta E^*=10.1\sim 26.8$ 、 $\Delta E^*=13.1\sim 28.7$ と増加傾向を示した。試験時間150時間において、色差の変化が少なかったのはNF、UTで、 $\Delta E^*=13.1\sim 15.4$ であった。これに比べFR、UP、NC、FUにおいては $\Delta E^*=21.4\sim 28.7$ の変化を示し、光変色が著しい結果となる。

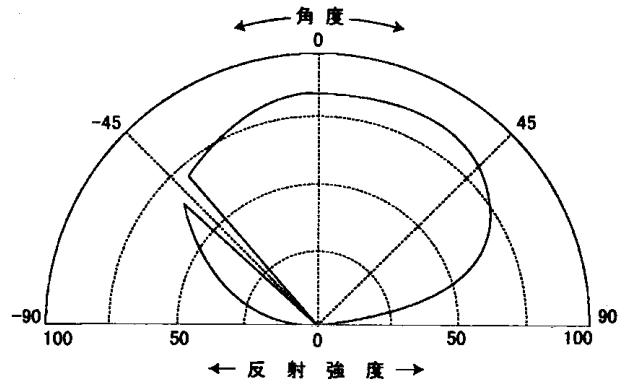


図9 難燃化処理した赤松材の反射光分布

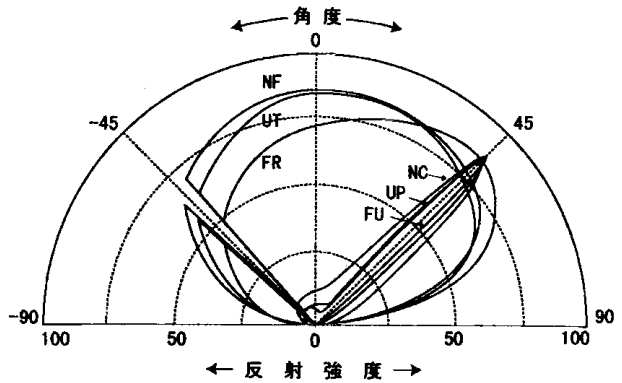


図10 塗装表面の反射光分布

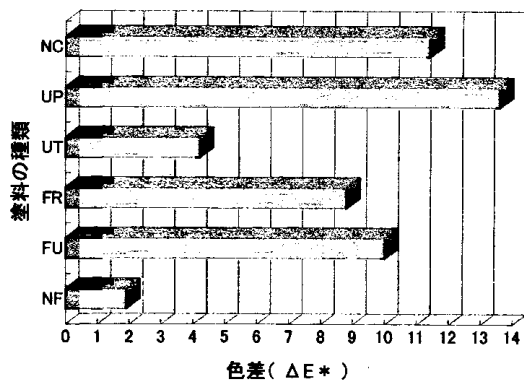


図11 塗料の濡れ色による色差の変化

図13に耐湿試験における変色について、色差の測定から、耐湿性 (50℃・95%RH) の評価を行った結果を示す。試験時間が 25、50、100、150時間と増すと、NFでは $\Delta E^* = 9.1 \sim 3.9$ と減少し、それ以外では、 $\Delta E^* = 10.1 \sim 17.5$ 、 $\Delta E^* = 10.9 \sim 18.3$ 、 $\Delta E^* = 11.5 \sim 22.3$ 、 $\Delta E^* = 12.5 \sim 23$ と増加する傾向を示したが、その中で色差の変化が少なかったのは、促進耐候性試験と同様にUTで、試験時間 150時間においても $\Delta E^* = 12.5$ とわずかな変化であった。これに比べ、UP、NC、FR、FUでは $\Delta E^* = 14.5 \sim 23$ の変化を示し、吸湿による変色が著しい結果となった。

写真1、2に、難燃化処理後、UT、NFを塗装した試験片の耐湿試験 150時間後の表面を観察した結果を示す。UTでは、塗装表面の異常は見られないのに対し、変色の少なかったNFでは、その塗装表面は塗料の濡れ色の状態よりもかなり白くなっており、木目に沿って難燃処理薬剤の噴出が見られた。その他の塗料の塗装表面でも、異常は見られなかったことから、浸透タイプの塗料と造膜タイプの塗料の耐湿性能による差が出たものと考えられる。

これらのことから、難燃処理した赤松材の変色を最小限に押さえ、また、難燃処理薬剤の噴出を防止するためにはUTが効果的であると考えられる。

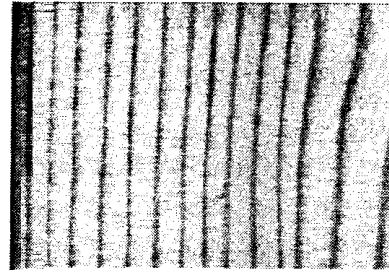


写真1 UTを塗装した難燃処理木材の表面

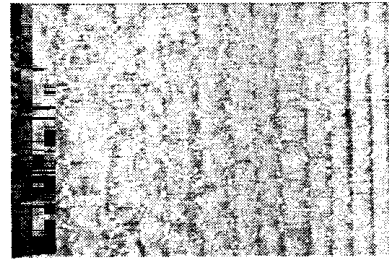


写真2 NFを塗装した難燃処理木材の表面

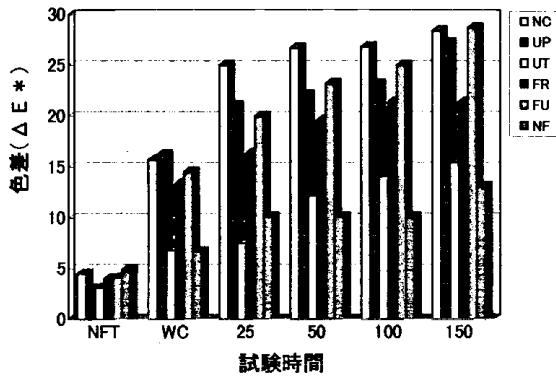


図12 促進耐候性試験における色差の変化

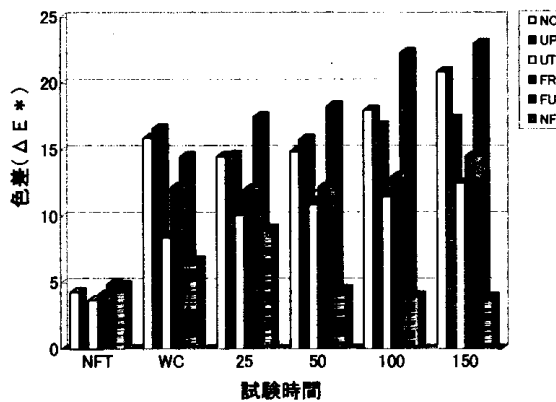


図13 耐湿試験における色差の変化

4 結 言

県産木材の用途拡大を図ることを目的に、赤松材の難燃化処理およびその塗装適正について検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- (1) 無処理の木材に対し、可燃性塗料を塗布しても、燃焼性能に与える影響は小さかった。
- (2) 赤松材の辺材を難燃化処理した場合、薬剤固定量を増加すれば、塗料が防火性能に与える影響は小さくなり、150 ~ 200kg/m³ 程の薬剤固定量を確保できれば塗装の有無、種類によらず難燃材料の基準を満たした。
- (3) 難燃化処理した赤松材の塗装において、素材感を損ねず、経時変化による薬剤の噴出や変色等を最も少なくすることができる塗料は、2液型ポリウレタン樹脂塗料であった。

文 献

- 1) 谷内, 穴沢: 第48回日本木材学会大会研究発表要旨集, p649 (1998)
- 2) 穴沢, 浪崎, 高橋, 有賀: 第2回環太平洋塗装技術フォーラム研究発表要旨集, p354 (1997)
- 3) 西沢 仁: ポリマーの難燃化, (株)大成社 (1994)
- 4) 木材活用事典, (株)産業調査会 (1994)
- 5) 山田 正: 木質環境の科学, (株)海青社 (1987)