

# 透明塗装木材の耐候性について

Clear Paint System for Woods  
and its Wethering Performance

吉野安里・柴田直明

透明塗装は顔料を含有しないために、不透明塗料に比べると耐候性は低い。透明塗装木材の屋外耐候性の向上を図る目的で、まず各種透明塗装木材の耐候性を検討した。その結果、塗膜自体の耐候性に加えて、塗膜と木地の固着性、木地そのものの寸法安定性が、耐候性を向上させるためには必要であることがわかった。そこで、WPC下地処理とブタジエン系の塗装を組み合わせさせた結果、耐候性をおおきく向上させることが可能となった。この技術によって、木目や節などをみせた木製看板を製品化できた。

キーワード：耐候性，透明塗装木材，促進劣化試験，屋外暴露試験

## 1 はじめに

近年木材を屋外で使う事例が増えているが、その用途は建築物、遊具、木橋といった構造的なものからサインボードまでさまざまである。耐候性を考えた場合に塗装が必要であるが、できれば木目や節などを見せて木材であることをアピールしたいという願望も少なくない。透明塗装木材の屋外耐候性の向上を図る目的で、まず透明塗装木材をウェザメータにより促進劣化させて耐候性を検討し、次に下地処理としてのWPC処理も検討した。

この研究は、林野庁国補課題「地域産材による高耐久性新素材の開発」（平成9年度から13年度まで）の一部として実施した。

## 2 透明塗装のみによる木材の耐候性

### 2.1 実験方法

#### 2.1.1 供試材

カラマツ、スギ、ホワイトアッシュ、オークの心材を人工乾燥した材を供試材に用いた。同一の供試

材から後述する透明塗装用の試験片を採材した。すなわちマッチングをとった。試験片の寸法は、長さ（繊維方向）150mm、幅（接線方向）70mm、厚さ（半径方向）10mmとした。これは促進劣化試験機（ウェザメータ）の制約による。

#### 2.1.2 塗装方法

市販の塗料の中から「一般的な」透明塗料として7種類（Aシリーズ）、屋外用での使用を考慮された「耐候性のある」透明塗料7種類（Bシリーズ）

表-1 塗装の種類

記号	内 容	
A1	非塗膜タイプ木材保護塗料3回（屋内用）	油性 含浸型
A2	屋外用1液型ウレタン2回	油性 造膜型
A3	ニトルセルロースラッカーセット	油性 造膜型
A4	酸化重合型塗料（アミノ油系）	油性 含浸型
A5	不飽和ポリエステル型塗料	油性 造膜型
A6	アクリル重合型UV塗料	油性 造膜型
A7	アミノアルキッド型塗料	油性 造膜型
B1	湿気硬化型ウレタン系	油性 造膜型
B2	屋外ドア用ウレタン系	油性 造膜型
B3	シリカ系	油性 造膜型
B4	UV吸収剤入ウレタン系	油性 造膜型
B5	2液型ウレタン系	油性 造膜型
B6	ウレタン系（湿気硬化型+2液型）	油性 造膜型
B7	ブタジエン系	油性 造膜型

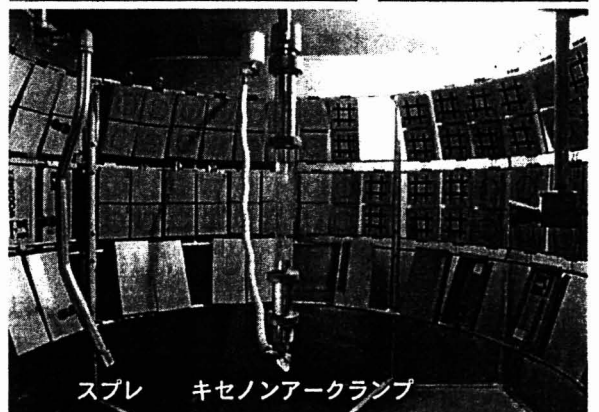


写真-1 ウェザメータの外観（上）と内部（下）

の計14種類を選んだ(表-1)。塗装は各メーカーが指定する方法にできるかぎり忠実に従った。スプレガン塗装や研磨など高度の技能が要求される塗装工程がある。これらは熟練した職人の手によった。なお以下塗料は表-1の記号で標記する。

2.1.3 促進劣化試験の条件

促進劣化試験機には米国アトラス社製Ci65を使用した。光源はキセノンアークランプとし、使用フィルタは内側および外側ともにポロシリケートタイプである。照射強度は0.35W/m<sup>2</sup>(波長340nmにおいて)、ブラックパネル温度63℃とした。チェンバー内の雰囲気は温度35℃、乾湿球温度差5℃とし、チェンバー内の冷却用にはスポットクーラを併用した。降水間隔は2時間1サイクル中18分間とし、イオン交換水を試験片表面に散布(降水)した。なお降水中も光の照射を継続した。

2.2 測定

2.2.1 色差

ミノルタ製色彩色差計CR-300を使用し、色を測定した。観察光源はD<sub>65</sub>(JIS Z 8722)とし色の表示はL\*a\*b\*表色系(JIS Z 8729)によった。暴露前の測色値を基準として色差(ΔE\*)を求めた。

2.2.2 光沢度

ミノルタ製光沢計GM268を使用し、試験片の繊維方向の60度鏡面光沢度(JIS Z 8741)を測定した。光沢度の経時変化は、光沢度の減少量あるいは減少量の割合(光沢度減少率あるいは光沢度保持率)として表すことが多い。しかし本実験では多くの種類の塗料を扱い、それらの暴露前の光沢値はかなり異なることから、光沢の実測値で表すこととした。

2.2.3 接触角

直径1mm程度の水滴を試験片表面に滴下し、30秒間静置させた後の接触角を測定した。

2.2.4 塗膜欠陥率

1cm間隔の升目格子板を用い、試験片に生じた塗膜の欠陥数を数えた。全格子数に占める欠陥数の百分率をもって塗膜欠陥率とした。なお試験片の端から各1cmの部分は、塗膜の欠陥の評価からは除外した。これは試験片の作成の段階で、側面および辺縁部分の塗装の管理が十分にできないからである。

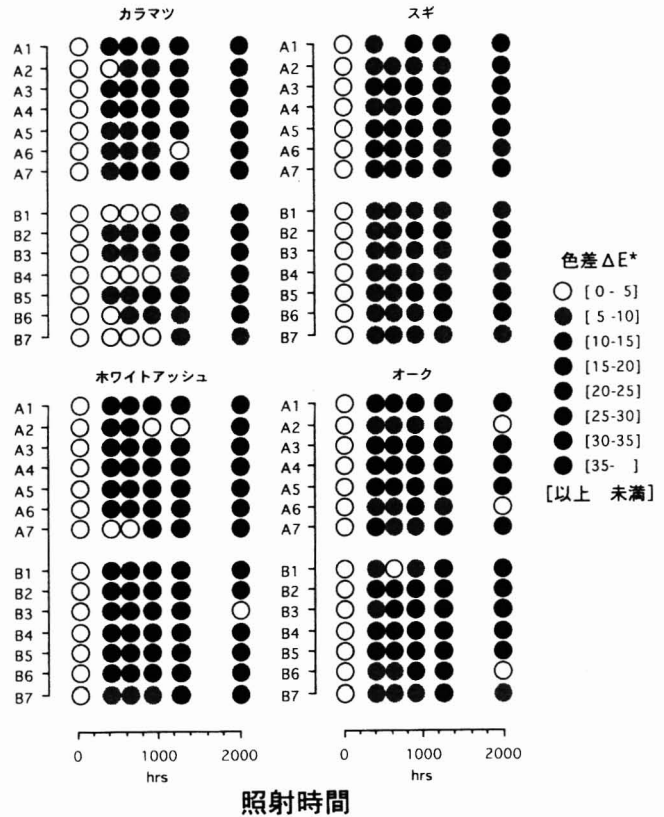


図-1 色差(ΔE\*)の変化

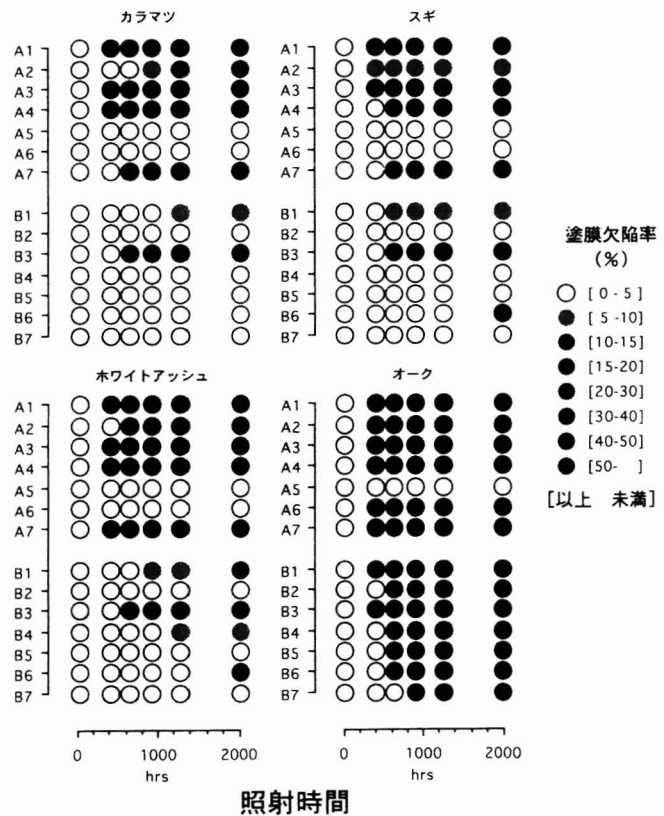


図-2 塗膜欠陥率の変化

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 樹種による劣化の差

透明塗料の場合、塗膜の変色だけではなく、木地そのものの変色の影響も大きい。ホワイトアッシュは、暴露初期から変色がやや大きかった（図-1）。これはどの塗料においてもほぼ同じ傾向であったことから、ホワイトアッシュの木地そのものの変色が大きかったと考えることができる。一方、カラマツは変色がかなり少なかった。

塗膜欠陥率ではオークが大きかった（図-2）。他の樹種において塗膜の欠陥がまったく生じなかった塗料でも、オークでは部分的に塗膜の亀裂が生じた。明らかにオークは寸法の変化が他樹種よりも大きく、なんらかの寸法安定化を図る必要がある。

全般的に、光沢の減少と接触角の減少は暴露を開始してすぐに表れているのに対して、色差はゆっくりと増大している。これは、紫外線は（降水と相乗して）塗膜の劣化には大きく作用し、木地の変色にはゆるやかに作用したためではないかと考える。すなわち透明塗装であっても、塗膜の表面で紫外線は吸収され、塗膜の劣化に寄与していると考えられる。

塗膜に欠陥が生じると、その部分は速やかに脱色され白っぽくなる。この点は屋外での暴露と大きく異なる点のひとつである。また、塗膜の欠陥はある時間で急に大きくなる傾向がある。これは劣化によって塗膜が薄くなり、木地の寸法変化に追従しきれなくなったことによると考えることができる。

### 2.3.2 塗料による劣化の差

光沢や接触角は樹種による差というよりも、塗膜そのものの耐候性が反映されたといえる（図-3、4）。

一般的な透明塗料（Aシリーズ）の中で、非造膜型の塗料（A1,A4）は屋内用の仕様である。非造膜のため暴露開始時点での光沢は低い。これらの塗装は、4樹種のいずれも400時間までに木地の露出を認めた。家具や屋内用の塗料（A3）も同様であり、塗膜のほぼ全面に欠陥が生じた。Aシリーズであっても中には、塗膜の欠陥や接触角の保持に関して優れたものがあつた（A5,A6）。

屋外用の透明塗料（Bシリーズ）は、一般に変色や塗膜の欠陥の抑制に関して優れていた。接触角は比較的变化が少なく、初期状態を保持しつづけた。

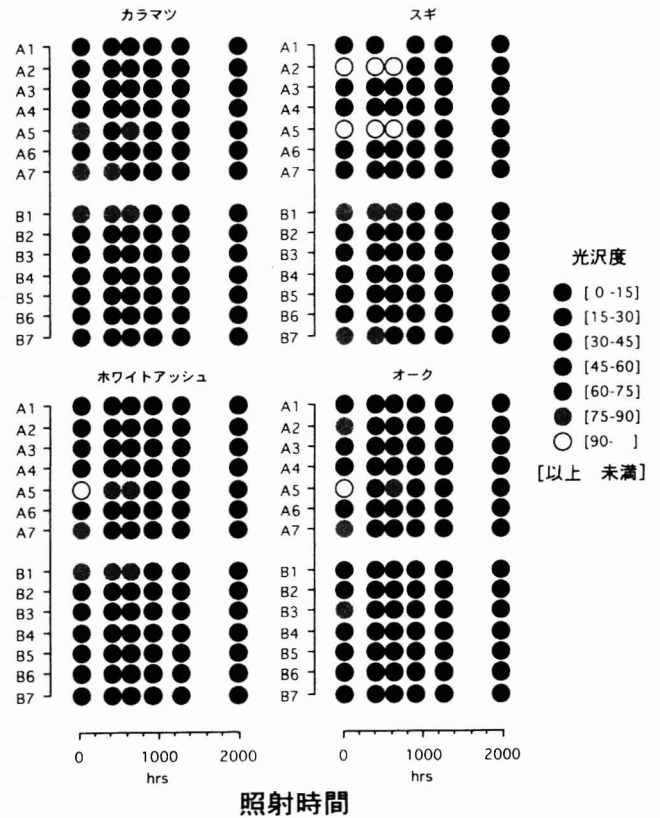


図-3 光沢度の変化

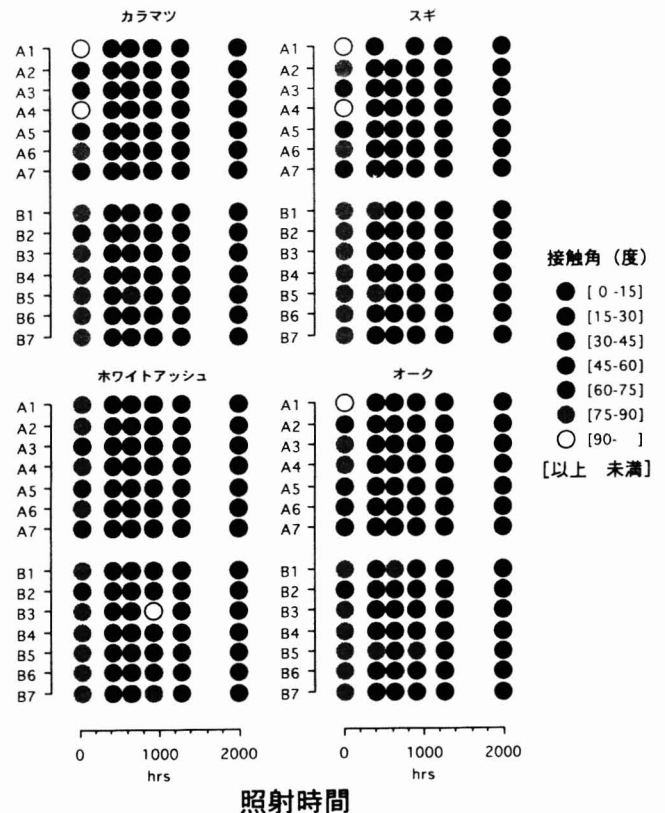


図-4 接触角の変化

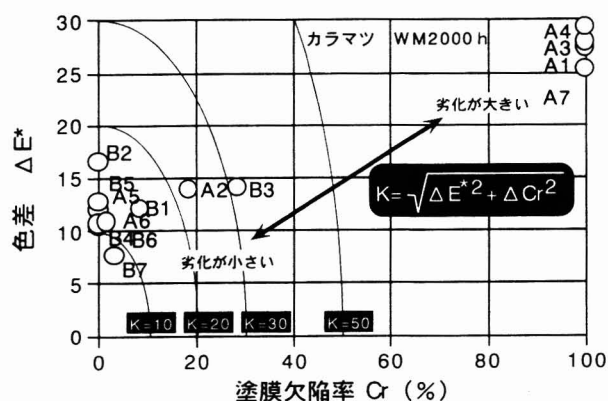
しかし光沢の減少は暴露の初期から徐々に進んでいた。塗膜の物性は変化し、浸食も受けていると考えることができる。浸食の速度はAシリーズに比べると緩慢であること、さらに欠陥に至らない程度の塗膜の厚さが残存して「重ね塗り」の効果が発揮されていると考える。Bシリーズの中には、耐候性(特に塗膜の欠陥に関して)やや劣るものもあった(B3)。この塗料は、フィルム単体では高い耐候性があるとされているが、鉄やアルミニウムなどの無機材料用の塗料であり、今回の試験では塗膜と木地との固着性が十分ではなかった。特に広葉樹の道管の目切れや放射組織での塗膜の剥離が著しかった。これらのことから、屋外用の透明塗料では、塗膜自身の耐候性の点はおおむね良好であるが、木地との固着性の面で耐候性に差が生じているといえる。

### 2.3.3 劣化指数K

塗装木材の耐候性の評価のためには、何らかの劣化の尺度が必要である。現実には塗装木材を屋外で使う場合には、変色と塗膜の割れ(剥離)が問題になることが多い。すなわち塗膜に欠陥が生じることで、木地が露出し、水の侵入をまねき、大きな変色をもたらしている。そこで塗膜の欠陥と色差を、劣化を説明する主たる因子と考えた。そこで色差がなく塗膜の欠陥もない状態(原点)から、劣化によってどれだけの距離をなしたかを劣化指数Kとして表すことを試みた(図-5)。劣化指数Kを次式により定義した。

$$K = \sqrt{\Delta E^*{}^2 + Cr^2}$$

ただし  $\Delta E^*$ : 色差,  $Cr$ : 塗膜欠陥率 (%)



樹種: カラマツ (照射 2000 時間)

図-5 劣化指数K

色差と塗膜欠陥率の両方、あるいはどちらか一方のみに重みを持たせることもできるが、今回は両者を同じに扱い、単純に原点からの距離を求めた。

### 2.3.4 劣化指数Kによる評価

2000時間後のK値では、耐候性の優劣の差があらわれたが、塗料の種類だけではなく、樹種によっても差があることがわかった。樹種による耐候性の差を次の3つのグループに大別できた(図-6)。

#### ①どの樹種でも不良のグループ

そもそも屋外使用に適していないもの(A1,A3)や、耐候性の低い塗料(A7)などでは、暴露を始めてから早い時期に塗膜がパウダー化して脱落し、木地が露出した。2000時間経過後ではほとんど無処理に近い。非造膜型(含浸型, A4)は、塗料を含んだ木地表層部分が浸食されたと考える(例A4,A7, 写真-2)。

#### ②樹種によって異なるグループ

このグループは、針葉樹よりも広葉樹の方が劣化が大きい傾向があった。劣化した部分は広葉樹の道管の目切れ(ホワイトアッシュ)や放射組織の断面(オーク)などの部分で塗膜の固着の不良が原因であった(A2,B1,B3,B6)。ただ2000時間経過時点では、塗膜そのものも薄くなっていて、針葉樹であってもほぼ限界であると判断した。一方A6の場合は異なっていた。光沢や接触角も低下し、塗膜自体もかなり劣化していたが、塗膜自体は堅固であり、木地との固着も良好であった。カラマツ、スギ、ホワイトアッシュでは塗膜の亀裂は生じていなかったが、オークでは大きな亀裂が生じた。これは

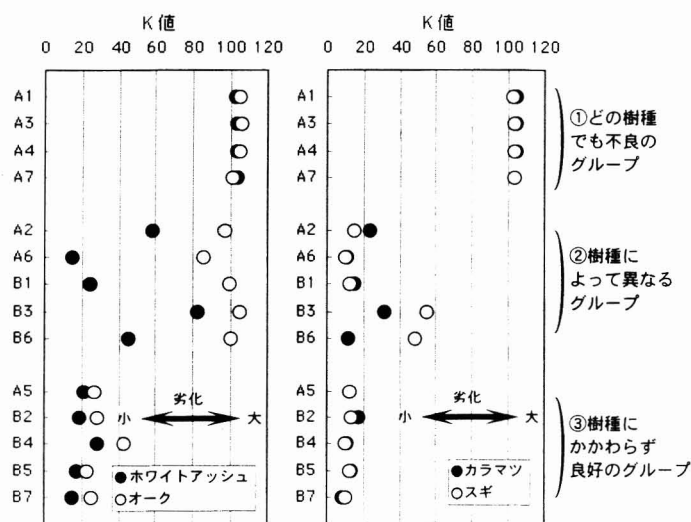
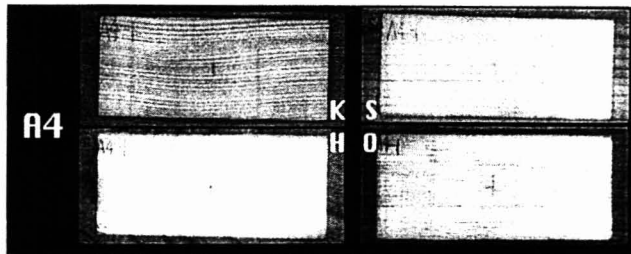
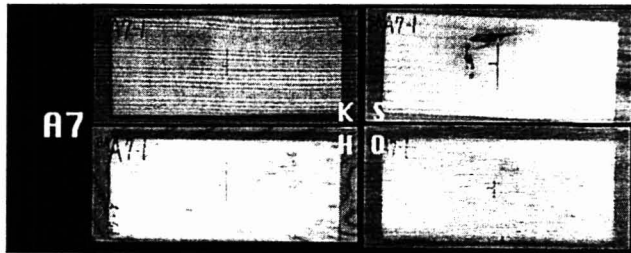


図-6 照射 2000 時間後の劣化指数Kによる評価

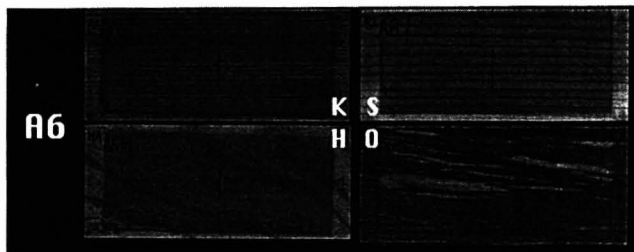


A4 (酸化重合型非造膜型塗料)  
全樹種ともに全面で塗膜が剥離した。

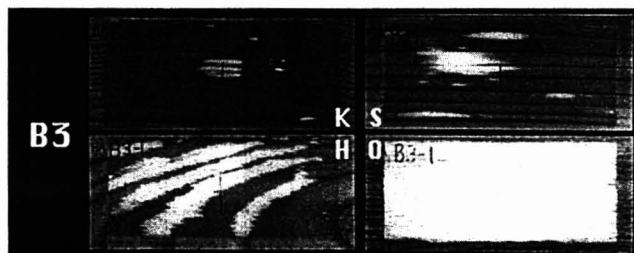


A7 (アミノアルキッド型塗料)  
全樹種ともに全面で塗膜がパウダー化している。  
カラマツ、スギではかすかに付着している。  
ホワイトアッシュ、オークでは完全に剥離した。

(K: カラマツ S: スギ H: ホワイトアッシュ O: オーク)  
写真-2 耐候性の低い例 (照射 2000 時間)

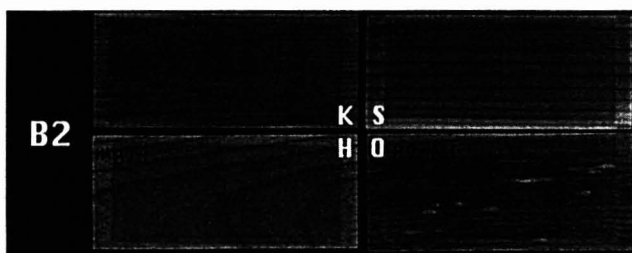


A6 (アクリル重合型 UV 塗料)  
光沢を失ってはいるが、塗膜は堅固である。  
オークでは塗膜に大きな亀裂が生じた。



B3 (シリカ系塗料)  
広葉樹の道管の目切れ (ホワイトアッシュ) や放射組織の断面 (オーク) などの塗膜の固着性が悪い。カラマツ、スギでも塗膜はかなり薄くなってきて、木地が露出しはじめています。

(K: カラマツ S: スギ H: ホワイトアッシュ O: オーク)  
写真-3 樹種によって耐候性の異なる例 (照射 2000 時間)



B2 (屋外ドア用ウレタン系塗料)  
おおむね良好である。  
スギではやや黄変色した。



B7 (ブタジエン系塗料)  
おおむね良好である。  
カラマツでは、小さな欠陥が生じた。  
オークでは塗膜に小さな亀裂が生じた。

(K: カラマツ S: スギ H: ホワイトアッシュ O: オーク)  
写真-4 耐候性の高い例 (照射 2000 時間)

塗膜の柔軟性が低く、木地の寸法変化に追随しきれなくなったためと考えた (例A6,B3, 写真-3)。

③樹種にかかわらず良好のグループ

針葉樹、広葉樹ともにおおむね良好である。塗膜に大きな欠陥がない点で優れている (例B2,B7, 写真-4)。全体を通してブタジエン系 (B7) の劣化指数が小さく、劣化しにくいと判断できた。

3 表層 WPC による下地処理と耐候性

前章において、塗膜自身に耐候性があっても、木地との固着性が悪いと塗膜の欠陥につながる例があり、下地処理を改善する必要があることがわかった。そこで透明塗装には、耐候性の点で優れていたブタジエン系を使用し、下地処理には、木地の表層付近のみを WPC (表層 WPC) 化処理することにして、耐候性の改善を検討した。

3.1 実験方法

3.1.1 供試材

供試材は、2章 (2.1.1) で用意した材料から作製し、2章の透明塗装の耐候性促進試験 (WM試験) とマッチングを取った。試験片の寸法はWM試験と同じ大きさの、長さ (繊維方向) 150mm, 幅 (接線方向) 70mm, 厚さ (半径方向) 10mm である。なお樹種は、カラマツ、ホワイトアッシュ、オークの3樹種とした。これらの3樹種を3官能型アクリル系オリゴマーによる WPC 処理を行った (以下 WPC 処理と記す)。

3.1.2 塗装方法

塗装は、2章表-1に示したブタジエン系 (B7) を使用し、方法は2章 (2.1.2) に従った。

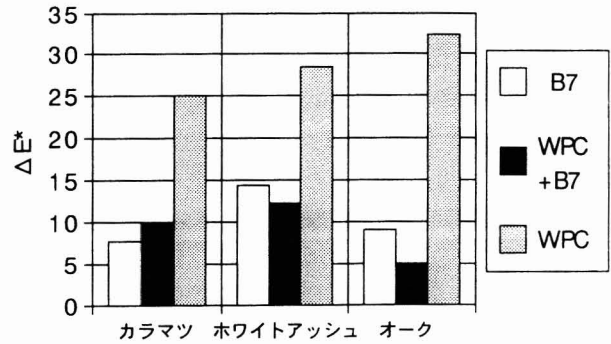


図-7 2000時間経過後の色差 (ΔE\*)

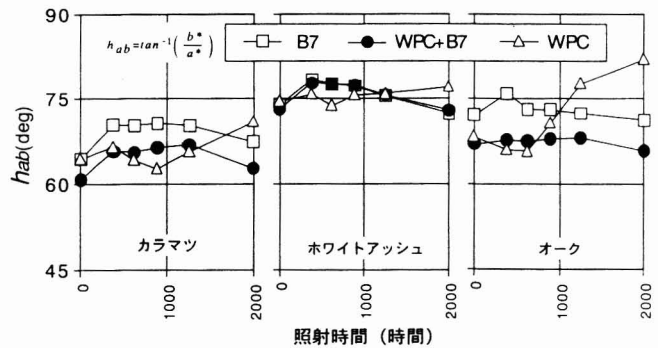


図-8 色相角 (hab) の経時変化

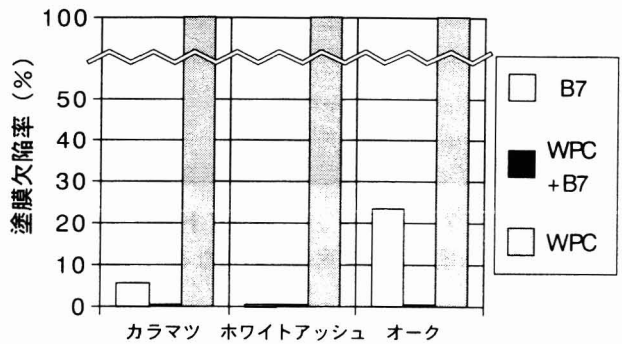
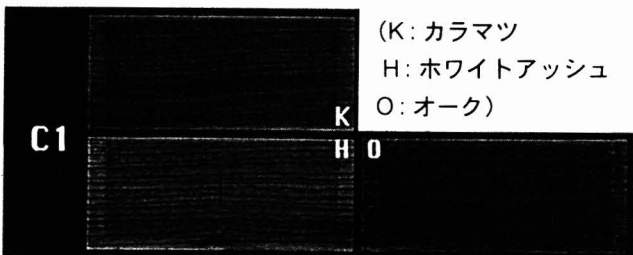


図-9 2000時間後の塗膜欠陥率



C1 (WPC 下地処理+B7:ブタジエン系塗料)  
塗膜の欠陥がなく、耐候性に優れる。  
寸法変化の大きい樹種であるオークでも、良好な塗膜の固着性がある。

写真-5 表層 WPC による下地処理効果 (照射 2000 時間)

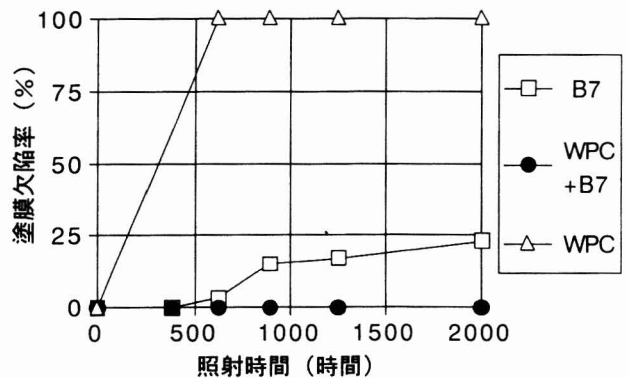


図-10 塗膜欠陥率の経時変化 (樹種:オーク)

### 3.1.3 促進劣化試験の条件

促進劣化試験機には米国アトラス社製Ci65を使用し、条件は前章(2.1.3)と同様とした。

### 3.2 測定

色差、塗膜欠陥率を測定した。方法は2章(2.2)に従った。

### 3.3 結果と考察

#### 3.3.1 色差

WPC処理とブタジエン系塗装の組み合わせ(WPC+B7)をみると(図-7)、色差の最も大きかったホワイトアッシュで約13であった。また色の傾向としては濃色化していた。色相角は曝露にもかかわらず全体的に大きな変化はなかった(図-8)。ただしオークのWPC処理のみの色相角(*hab*)が大きく変化しているのは、塗膜が木地から剥離したためである。色相角をみるとカラマツはやや赤みが強く、それに比較してホワイトアッシュは黄味がやや強いなど、樹種による材色の傾向があらわれている。

#### 3.3.2 塗膜欠陥率

WPC処理のみのものは500時間を超えると表面が劣化し、いずれの樹種でも細かな亀裂を多数認めた。すなわちWPC処理単独では耐候性が低い(図-9)。基材の寸法変化が大きいオークについてみると(図-10)、前章の結果からも明らかなようにブタジエン系塗装(B7)単独では、塗膜自体の耐候性は高いものの、基材の動きに追随しきれずに塗膜に大きな亀裂が生じた(前章写真-4)。しかしWPC処理とブタジエン系塗装を組み合わせることで、塗膜割れを阻止することができ(写真-5)、耐候性を向上できる可能性があることがわかった。

## 4 屋外耐候性の検証

2章および3章で、各種透明塗装木材の促進劣化試験(WM試験)による耐候性を明らかにした。WM試験の結果は屋外における耐候性の目安とするものである。しかし現実の屋外ではWMの環境とは異なる。透明塗装木材の製品化のためには、屋外での検証も必要である。そこで屋外暴露試験とWM試験による結果を比較して、屋外耐候性の予測を考察した。

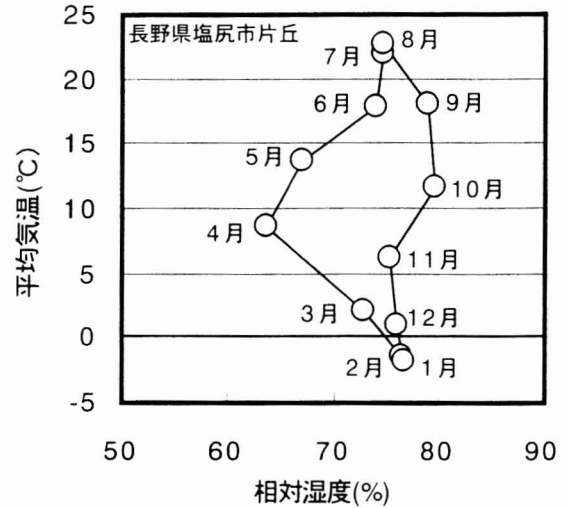


図-11 暴露試験地のクリモグラフ(平年値)

表-2 暴露試験地の気象平年値

年平均気温 (°C)	年降水量 (mm)	年降水日数 (日)	年平均相対湿度 (%)
10.1	1179.6	119.6	74.1

\*統計期間：1989年1月から1998年12月まで

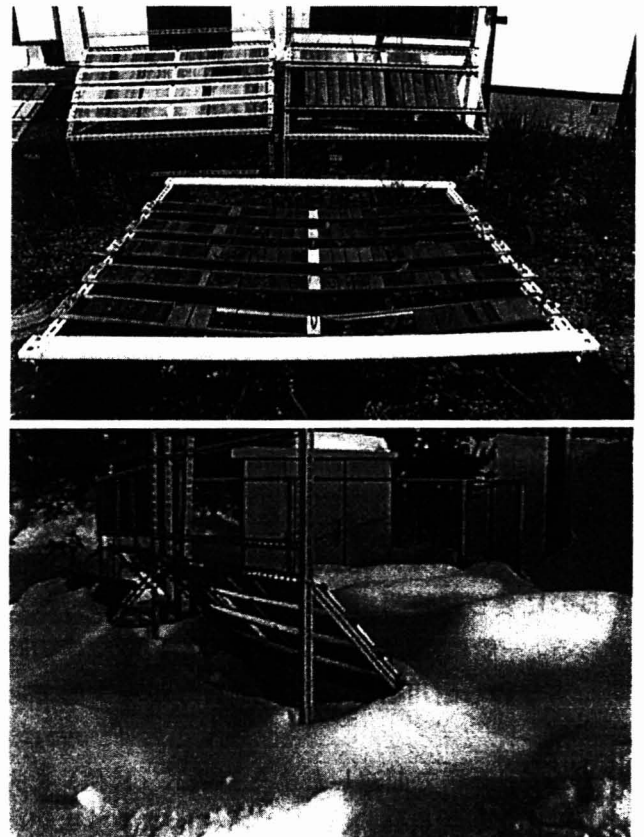


写真-6 屋外暴露試験

(上：夏季1998年9月、下：冬季1998年2月)

#### 4.1 実験方法

供試材は、2章(2.1.1)で使用した材料から作製し、2章および3章の透明塗装の耐候性試験とマッチングを取った。樹種は、カラマツ、ホワイトアッシュ、オークの3樹種とした。塗装方法は、2章および3章に従った。

##### 4.1.1 屋外暴露試験の条件

長野県林業総合センター構内(塩尻市片丘、標高850m)に試験片を設置した。暴露角度は、南面の45度(以下S45と記す)および0度(水平、以下HLと記す)の2条件とした。1997年5月から1999年12月までの934日間の屋外暴露試験をおこなった。表-2および図-11に暴露試験地の気象を示す。年平均気温10.1℃、年降水量は1180mmである。なお屋外暴露試験中の1998年2月には約100年ぶりの大雪となった(写真-6、暴露地点での積雪は約80cm)。

#### 4.2 測定

暴露試験片の色差、塗膜欠陥率をほぼ1ヶ月おきに測定した。測定方法は前章(2.2)の方法に従った。測定結果から劣化指数K(以下K値)を求めた。

なお屋外暴露試験では、試験片の表面に汚れが付着することがある。しかし汚れを除去することによって塗装面を損傷する可能性があることから、汚れの除去はしないことにした。なお試験の結果を大きく変えてしまうような汚れの付着はなかった。

#### 4.3 結果と考察

前章までのウェザメータ(WM)による促進劣化試験の結果に屋外暴露試験の結果を加えて透明塗装木材の耐候性を評価した。

##### 4.3.1 耐用限界

耐候性の評価方法には、ある一定の時間経過後の劣化の優劣を表現する方法と、ある一定の劣化に達するのに要した時間(耐用時間)で表現する方法とがある。一般に、耐候性は部材の再塗装や交換の時期、すなわち耐用時間で表現する方が現実的である。

そこで、2章で前述した劣化指数K(K値)を劣化の尺度として用い、K値がある値に達するまでの時間によって、各透明塗装の耐候性の評価を試みた。それにはまず、耐用限界のK値のしきい値をい

くらにとるかを決定しておかねばならない。

塗装の欠陥は劣化を促進させるので、木材保護塗料の場合では、塗膜の欠陥が10%くらいになった時が塗り替えの日安<sup>3)</sup>として提案されている。前2章のWM試験結果から、塗膜の欠陥率10%のとき色差10から15程度であった(図-5)。これはK値では15から20に相当する。そこでK値15を耐用限界( $K_{15}$ )と考え、 $K_{15}$ に達した時点をも耐用時間とした。

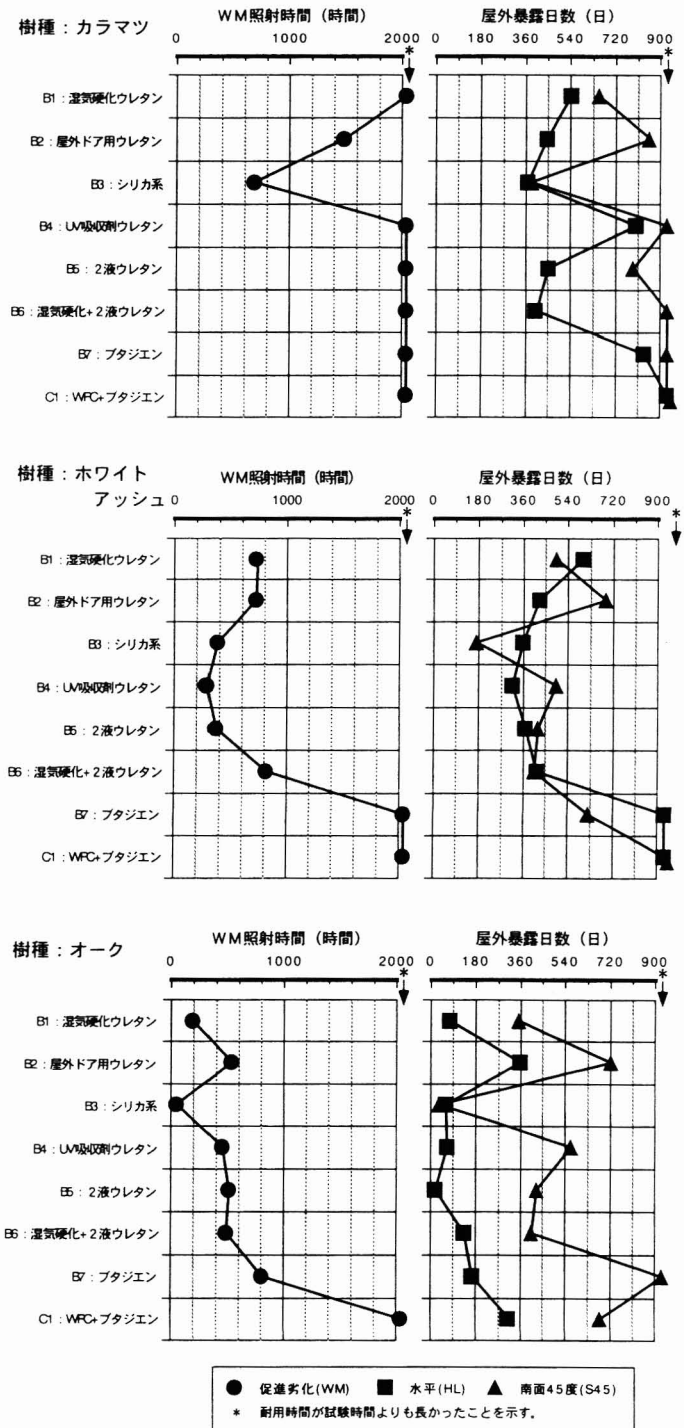


図-12 耐用時間 ( $K_{15}$ に到達した時間)



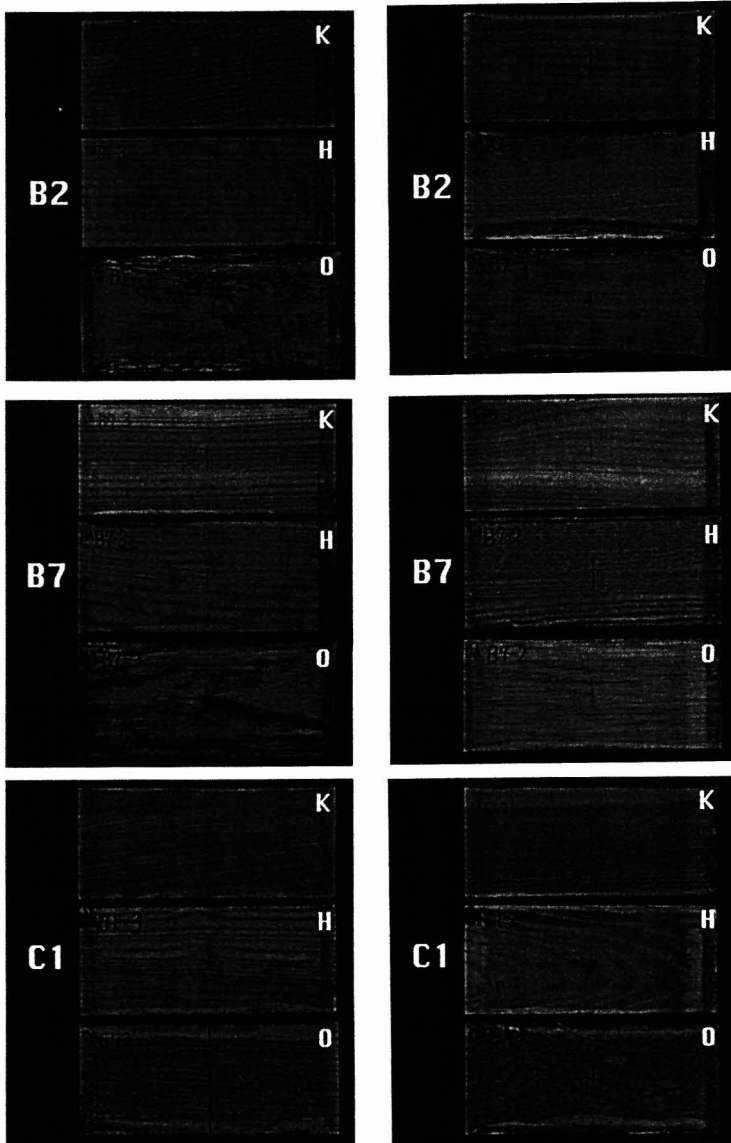
#### 4.3.2 暴露条件と耐候性

屋外用の透明塗装の耐用時間（ $K_{15}$ 到達時間）を図-12,13,14に示す。WM試験は2000時間、934日は屋外暴露試験は934日が、それぞれ試験終了時の時間数および日数である。

一般的に、WMにおいて耐候性の高い塗装は、おおむね南面45度（S45）の耐候性も優れている。さらに暴露角度に注目すると、水平（HL）ではの方がS45よりも耐用時間が短く、暴露条件としてより厳しいことがわかる。S45の方がHLよりも強い日射を受けると考えられるが、HLの方が劣化がおおきい。これは試験片上の降水の滞留がおおきく影響していると考えられる。

#### 4.3.3 樹種による耐候性の差

樹種によって耐用時間は大きく異なった（図-12）。すなわち「耐候性のある」とされるBシリーズの多くの塗装は、カラマツの場合では、耐候性を有していた。耐用時間はWMでは2000時間以上、S45では2年以上であった。しかし、ホワイトアッシュやオークでは、多くの塗装で耐用時間が短くなり、暴露条件の厳しいHL（水平）使用ではその傾向は顕著であった。これは前述のように広葉樹は寸法変化が大きいこと、道管部分の目切れや放射組織の断面など塗膜の固着性を十分に得ることが難しかったためといえる。WPC下地処理による塗装（C1）では、広葉樹の場合でも、屋外の耐候性を向



B2（屋外ドア用ウレタン系塗料）

カラマツでは良好である。

オークでは塗膜に小さな亀裂が生じた。

B7（ブタジエン系塗料）

カラマツでは良好である。

ホワイトアッシュでは、小さな欠陥が生じた。

オークでは塗膜に小さな亀裂が生じた。

C1（WPC下地処理+B7：ブタジエン系塗料）

全般に塗膜の欠陥がなく、耐候性に優れる。

寸法変化の大きい樹種であるオークでも、他の透明塗装に比べて塗膜の固着性は良好であったが、試験片の縁から塗膜の剥離がはじまった。

（左：水平暴露（HL）、右：南面45度（S45））

（K：カラマツ H：ホワイトアッシュ O：オーク）

写真-7 屋外暴露934日経過の試験片

上できた。なお、オークのC1については、試験片の中央部では良好な塗膜の固着性があったが、縁から発生した塗膜の剥離が派生して、屋外の耐用時間が短くなった。

## 5 まとめ

1) 透明塗装木材の性能について、カラマツ、スギ、ホワイトアッシュ、オークの4樹種の中では、全般的にオークの劣化が大きくカラマツが少なかった。光沢や接触角に関しては樹種間の差は少なく、色差と塗膜欠陥率に差があった。

2) 屋外用の透明塗料（Bシリーズ）は、おおむね耐候性が高かった。しかし、その中でも無機材料用の塗料は木材用と塗装として明らかに不適であった。一方、ブタジエン系の塗料は耐候性に優れていた。

3) 耐候性の尺度として色差と塗膜欠陥率に注目した。これらにより定義された劣化指数Kは、実際の劣化の状況をよく表していた。また、劣化指数Kによって、塗料と樹種による耐候性の違いを分けることができた。

4) 塗膜自身に耐候性があっても、木地との固着性が悪いと塗膜の欠陥につながった。下地処理を検討する必要があることがわかった。

5) 下地処理として木地の表層部分をWPC処理（表層WPC）した結果、塗膜の固着性が改善され、耐候性を向上させることがわかった。

6) 屋外の暴露条件として、暴露角度が低い方が

南面45度よりも早く劣化する傾向があった。

## 6 おわりに

下地に表層WPC処理し透明塗装する技術は、工程や意匠の改良がおこなわれ、長野県内の企業によってサインボードやバス停として製品化された（写真-8、9）。

## 謝 辞

本研究の遂行にあたり、透明塗装のみによる木材の耐候性については（株）ウッドレックスの多大なる援助とご協力をいただきました。表層WPCによる下地処理については信州大学農学部、（株）ウッドレックス、長野県木材協同組合連合会の多大なる援助とご協力をいただきました。ここに感謝します。

## 参考文献

- 1) 柴田直明・吉野安里ほか（1994）第44回日本木材学会大会研究発表要旨集，p.77
- 2) 吉野安里・柴田直明ほか（1997）第47回日本木材学会大会研究発表要旨集，p.437
- 3) 吉野安里・柴田直明ほか（1998）第48回日本木材学会大会研究発表要旨集，p.455
- 4) 吉野安里・柴田直明ほか（1999）第49回日本木材学会大会研究発表要旨集，p.429
- 5) （財）日本住宅・木材技術センター（1996）住宅部材安全性能向上事業報告書，p.114



写真-8 WPC下地処理された透明塗装木材の製品例1  
（長野県川上村営バスの停留所1997.3設置/1998.7撮影）



写真-9 WPC下地処理された透明塗装木材の製品例2