

国産木材利用促進を目的とした塗装仕様の屋外暴露試験

OUTDOOR EXPOSURE TEST OF COATING SPECIFICATIONS AIMED AT PROMOTING THE USE OF DOMESTIC WOOD

山本拓弥*¹, 櫻田将至*², 増田直之*³,
栗木茂*⁴, 大塚洋之*⁵, 市川菜奈絵*¹

Takuya YAMAMOTO, Masashi SAKURADA, Naoyuki MASUDA,
Shigeru KURIKI, Hiroyuki OTSUKA, Nanae ICHIKAWA

In Japan, the use of domestic timber is being promoted from the viewpoint of sustainability such as decarbonization, in addition to national land conservation and forestry regeneration. For the purpose of helping to promote the use of wood as a building material, we made a prototype of coating specifications that make use of the texture of the wood substrate. The durability of Sugi lumber with various coating specifications including prototypes was evaluated by an outdoor exposure test for about two years, and the following results were obtained.

- 1) Before exposure, the prototype had initial measurements closer to the original substrate of wood than the reference product for comparison, and there was a possibility that the coating did not impair the texture of the substrate.
- 2) Regarding the color difference, the prototype was smaller than the reference product 810 days after the start of exposure
- 3) Regarding glossiness, the prototype had a higher retention rate than the reference product 810 days after the start of exposure.

Keywords : Lumber, Coating Specification, Outdoor Exposure, Texture, Glossiness, Color

木材, 塗装仕様, 屋外暴露, 風合い, 光沢, 色

1. はじめに

現在, 我が国において戦後に政策として植林されたスギやヒノキなどの針葉樹が利用時期を迎えていることに加え, 国土保全や林業再生といった観点から, 国産木材の利用が推進されている。2010 年には「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が公布・施行され, 公共建築物の木造・木質化を推進する方針などが示された。同法の施行より 10 年以上経過し, 新築される低層の公共建築物のうち 3 割弱が木造となるなどの成果が報告されたり。また, 同法に関しては, 2021 年に名称が「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用に関する法律」に改められ, 方針の対象が公共建築物のみならず建築物一般に拡大される。これまで林業再生や国土保全の観点から醸成された木材利用推進の機運は, 脱炭素や持続可能性といった社会的目標の実現のためにも, さらに広範に波及するものと思われる。

近況として国内外の影響により供給や価格などに変動があるものの, 上記の背景より建築物に木質建材が採用される例はさらに増加すると考えられる。

古くから建築材料として利用される木材は, 軽量や断熱, 調湿などの特性のほか, 木目や木理といった外観のもつ風合いが好まれるため採用される例が少なくない。他方で, 他の建築材料と比較して, 紫外線や水分, 微生物, 衝撃荷重などの劣化因子に鋭敏で外観は変化しやすい。そのため, 木材を建築物に用いる場合, 内外装を問わず, 保護の目的で塗装が施されるのが一般であるが,

仕様によっては色や光沢の大きな変化や木目の隠蔽を生じ, 木材のもつ「風合い」が損なわれる場合がある。

そこで, 筆者らは建築物におけるスギやヒノキなどの国産木材利用促進の一助となるよう, 「風合い」を損なわず耐候性の向上ができる透明(クリアー)塗装仕様を試作し, その性能試験を実施し, 結果を報告している^{2,4)}。本稿では, 屋外暴露試験に関して得られた結果について報告する。

2. 試験計画

2.1 塗装仕様

表 1 に塗装仕様を示す。試験対象の塗装仕様は A~F の 6 種とし, 種類を無塗装と試作品, 比較品とした。以下, 試作品および比較品について説明する。

試作品は外装材の塗替え用として実績のある一液水系シリコンクリアー塗料を基本として検討し, 粒径の異なる艶消し顔料を併用し配合した。これは, 防眩性透明塗料において, 粒径の異なる艶消し剤を併用することで, 塗膜下の色や模様が視認しやすくなる報告があったためである³⁾。塗装後の色差や光沢, 外観検査より配合を決定した²⁾。さらに屋外環境での耐久性向上のため紫外線吸収剤と光安定剤を配合したものを仕様 B とした。また, 顔料の添加は耐候性向上に大きく寄与するため, B に着色剤として顔料分散体を添加し仕様 C とし試験に供した。

*1 戸田建設(株)技術開発センター 修士(工学)

*2 大日本塗料(株)建築塗料事業部 博士(工学)

*3 大日本塗料(株)建築塗料事業部 修士(工学)

*4 戸田建設(株)技術開発センター

*5 戸田建設(株)技術研究センター 修士(理学)

Technology Development Center, TODACORPORATION, M.Eng.

Decorative Coating Dept., Dai Nippon Toryo, Dr.Eng.

Decorative Coating Dept., Dai Nippon Toryo, M.Eng.

Technology Development Center, TODACORPORATION

Technology Development Center, TODACORPORATION, M.Sc.

記号	種類	概要
A	無塗装	無塗装
B	試作品	一液水性シリコン樹脂塗クリアー塗料
		(艶消し顔料配合)
C		B+着色剤
D		ウレタン樹脂クリアー塗料
E	比較品	木材保護塗料含浸形
F		木材保護塗料含浸形

期間	2019年2月～2021年6月
試験地	茨城県つくば市
方位・角度	南向き・45°
測定時期	初期(暴露前), 経過7, 14, 30, 60, 90, 180, 360, 440, 650, 810日
測定項目	色, 光沢

測定項目	色	光沢
測定値	L^*, a^*, b^* (CIE 1976)	20, 60, 85° 鏡面光沢度
使用機器	分光色差計 NF333 (日本電色工業製)	光沢度計 PG-01 (日本電色工業製)

比較品に関しては、内装の木質床に一般に用いられるウレタン樹脂クリアーを仕様Dとし、日本建築学会材料規格「JASS 18M-307 木材保護塗料」に規定される塗料のうち含浸形で、無色透明に近いことを謳う2製品をそれぞれ仕様E, Fとして試験に供した。

2.2 試験体

試験体概要を図1に示す。ペーパー240番まで研磨した寸法230×90×17mmの杉板目材(栃木県八溝産)を素地とし、表1の塗装仕様を施工し試験体とした。試験体は、エポキシ樹脂を用いて寸法300×100mm厚み0.8mmのアルミ板に貼り付け、また木口と側面をふさいだ。試験体は仕様ごとに3体作製した。

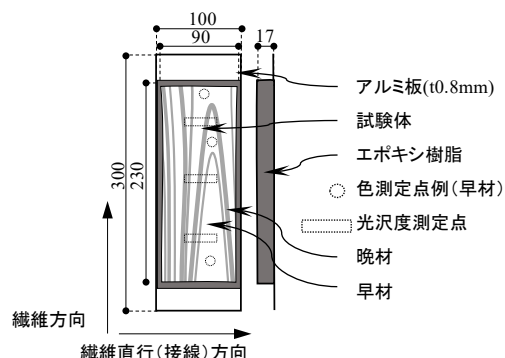


図1 試験体概要(単位:mm)

2.3 試験方法

表2に試験概要を示した。屋外暴露試験として、2019年2月から2021年6月まで、南に向けた架台に、アルミ板を治具で固定する形で試験体を角度45度で取り付け、架台は階数2の既存建物RFに位置し、背後に樹木があり南方10m程度の距離で道路に面した(写真1)。

表3に測定項目を示した。測定項目は色および光沢とした。暴露開始から所定日数ごとに試験体を架台から取り外し、洗浄を行わず実験室にて測定を行った。

色の測定値として、分光色差計NF333(日本電色工業製)を用いて L^*, a^*, b^* (CIE 1976)を取得した。範囲の大きさは $\phi 8\text{mm}$ 、測定条件はD65光源を用い視野角 2° とした。測定点については、試験体ごと早材部定位3点(図1)とし、試験前に試験体同寸法の厚紙に測定子の形状に沿って切り抜き作製したガイドを用いて管理した(写真2)。評価にあたっては、測定値から初期値を減じた $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ のほか、これらのユークリッド距離で定義される色差(ΔE^*_{ab})について、仕様ごとの平均を算出した。ここで、 $\Delta L^*, \Delta a^*, \Delta b^*$ は下記のような変化を表す。

- ΔL^* 正: 明方向 負: 暗方向
- Δa^* 正: 赤方向 負: 緑方向
- Δb^* 正: 黄方向 負: 青方向

光沢の測定値として、JIS5600-47に準拠し、光沢度計PG01(日本電色工業製)を用いて20, 60, 85°鏡面光沢度を取得した。鏡面光沢度は、規定された光源および受光器の角度(20, 60, 85°)にて鏡面(正反射)方向に対象物から反射する光束と、屈折率1.567のガラスから鏡面方向に反射する光束(各角度で100とされる)の比として定義される(図2)。



写真1 試験外観

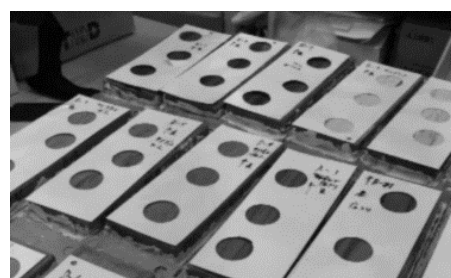


写真2 色測定外観

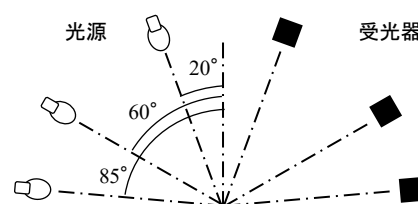


図2 鏡面光沢度測定の幾何条件

表 4 各仕様の初期測定値および無塗装（仕様 A）との比較

記号	初期値						無塗装（仕様 A）との比較						
	色			光沢			色				光沢		
	L^*	a^*	b^*	20°	60°	85°	ΔL^*	Δa^*	Δb^*	ΔE^*_{ab}	$\Delta 20^\circ$	$\Delta 60^\circ$	$\Delta 85^\circ$
A	77.4	2.7	20.5	1.5	4.9	1.5	-	-	-	-	-	-	-
B	73.6	3.0	26.1	1.4	7.3	3.1	-3.8	0.2	5.6	6.7	-0.1	2.3	1.6
C	54.2	14.3	30.1	0.8	5.0	2.3	-23.2	11.6	9.6	27.7	-0.6	0.1	0.8
D	68.4	5.0	23.8	2.9	17.0	19.3	-9.0	2.3	3.3	9.9	1.5	12.0	17.8
E	73.0	4.0	31.8	1.1	5.2	3.3	-4.4	1.2	11.3	12.2	-0.3	0.3	1.9
F	66.4	4.9	29.6	2.3	13.8	17.4	-10.9	2.2	9.1	14.4	0.9	8.8	16.0

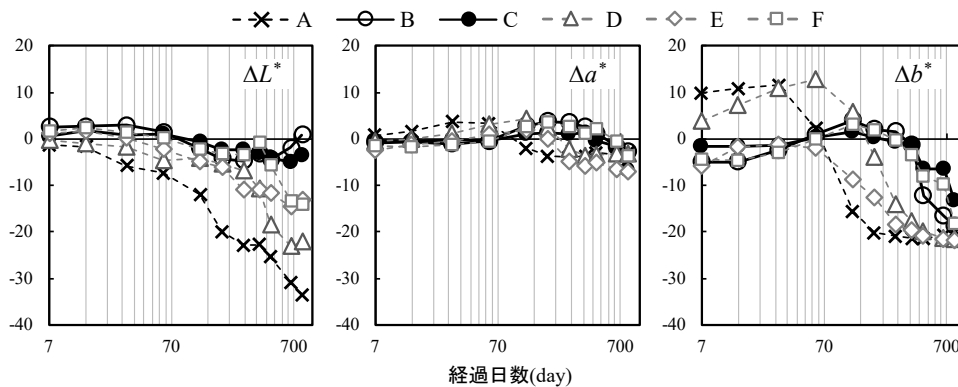


図3 試験中の ΔL^* , Δa^* , Δb^* の変化

本実験において、試験体の光沢測定は繊維直行（接線）方向について行い、測定点は試験体ごと上中下 3 点とした（図 1）。評価にあたって、測定値自体のほか、60°における値について初期値に対する百分率である Gr （光沢保持率）を、仕様ごとに平均し算出した。

3. 試験結果と考察

3.1 初期測定値

表 4 に各仕様の初期測定値および無塗装（仕様 A）との比較を示す。表には、各仕様の初期測定値を左に示し、これらのうち仕様 B～F の値について無塗装（仕様 A）と比較した結果を右に示した。比較では、色については無塗装（仕様 A）の ΔL^* , Δa^* , Δb^* および ΔE^*_{ab} 、光沢については仕様 B～F の初期測定値から無塗装（仕様 A）の初期値を減じ、幾何条件ごとに $\Delta 20^\circ$, $\Delta 60^\circ$, $\Delta 85^\circ$ とし示した。

色に関してみると、仕様 C では着色剤が添加されているため、程度が異なるが、いずれの塗装仕様においても、無塗装（仕様 A）と比較したとき ΔL^* が負方向に、 Δa^* , Δb^* が正方向となった。すなわち、塗装を施されることで試験体の色は暗色かつ黄赤味に変化するといえる。 ΔE^*_{ab} についてみると、試作品である仕様 B で最小であった。

光沢に関しては、無塗装（仕様 A）では、いずれも低い値であるものの幾何条件 60° にて他の条件より大きくなった。また、仕様 B, C, E においても、幾何条件による光沢度は無塗装（仕様 A）と同傾向となり、 $\Delta 20^\circ$, $\Delta 60^\circ$, $\Delta 85^\circ$ も小さかった。一般的に角度が大きいほど鏡面光沢度は大きくなるといわれるが、無塗装（仕様 A）では細胞や木理に起因する粗さ、仕様 B, C, F では粗さのほかに艶消し

顔料など塗膜の成分に影響を受けたものと思われる。一方、仕様 D, F では、角度が大きい幾何条件となるほど鏡面光沢度は大きくなり、 $\Delta 20^\circ$, $\Delta 60^\circ$, $\Delta 85^\circ$ も比較的大きく、無塗装（仕様 A）と特性が異なった。スギ以外を素地とした塗装木材においても、以上のような幾何条件による光沢の差異は他でも報告⁹⁾されており、「風合い」評価に用いることができる可能性がある。

今回測定した色と光沢の値は、そのみが「風合い」の評価へ影響するとは限らないものの、基本的な外観特性であるため無塗装（仕様 A）との差が大きいことは素地の「風合い」を損ねる方向へ働くものと考えられる。例えば、光沢に関し、木質床材（塗装品）を対象とした印象評価⁹⁾では、60 度鏡面光沢度の増大は、「木目がぼんやりした」「のっぺりとした」「人工的な」といった印象を与えやすいことが報告されている。すなわち、無塗装との比較で考えると、色差では試作品である仕様 B、鏡面光沢度では試作品仕様 B, C および比較品の仕様 E については塗装による影響が少なく、素地の「風合い」を損ねていないと考えることができる。

3.2 色の变化

図 3 に試験中の ΔL^* , Δa^* , Δb^* の変化を示す。試験開始初期に変化が大きかったため、横軸の経過日数は対数とし、経過 7 日（1 週）から 70 日（10 週）、700 日（100 週）を目盛に示した。

全体を概観すると下記の通りとなった。

- ΔL^* と Δb^* で、 Δa^* と比較して値の変化が大きかった。
- 経過 7 日という初期の時点で、無塗装（仕様 A）と仕様 D で ΔL^* が負方向に、 Δb^* が正方向に変化した。その他の仕様では経過 7 日で逆方向に変化した。

- ・ ΔL^* は試験期間を通して負方向に、 Δa^* と Δb^* は正方向に変化したのち逆方向（負方向）に変化した。

各値の推移から、本試験ではいずれの仕様においても主に明暗や黄味が変動したといえる。 ΔL^* の負方向への変化は、試験を通じた汚れの付着やカビなどの生物劣化と推測される。 Δb^* の変化について、正方向は日射による素地と塗膜の黄変、負方向は試験初期を除き雨水などによる素地着色成分の流出と考えられた。

試作品および比較品は、無塗装（仕様A）と比較して、各値の変化の程度が小さく、 Δa^* と Δb^* の変化が逆転するまでの時間が遅かった。すなわち、いずれの塗装仕様も、変色は無塗装とおおむね同傾向だが、変化を抑制かつ遅延する効果があるといえる。

ΔL^* の負方向の変化について比較すると、それぞれ程度が異なり、試作品と比較して比較品は早期に変化した。仕様ごとに汚れやすさや防カビ性能が異なる可能性があり、試作品（仕様B、C）で優れる可能性がある。

Δb^* の変化について比較すると、仕様ごとに変化の程度と正負が逆転する時期が異なった。試作品（仕様B、C）の Δb^* の変化は、比

較品である仕様D、Eと比較して程度が小さく、変化方向が逆になる時期も遅かった。これは、主に各仕様の塗膜の組成や成分に起因すると思われる。仕様Dは内装用で紫外線吸収剤や光安定剤を配合していないため、無塗装（仕様A）と同程度まで Δb^* が正方向に変化（黄変）したものと考えられる。また、経過7日までに生じた変化で、仕様Dのみ無塗装（仕様A）と同傾向であったが、これも紫外線吸収剤や光安定剤の有無によるものと思われた。

図4に試験中の ΔE^*_{ab} の変化を示す。試験810日の時点で ΔE^*_{ab} は小さい順で仕様C、B、F、E、D、Aとなり、試作品（仕様B、C）では他の仕様より小さくなった。

3.3 光沢の変化

図5に試験中の幾何条件による光沢度の変化を示す。無塗装（仕様A）については、いずれの幾何条件においても経過180日まで増加した後、減少した。幾何条件による光沢が無塗装（仕様A）と近かった仕様に関して、試作品（仕様B、C）においては、幾何条件20°で経過450日に増加、85°で経過30~450日まで微増がみ

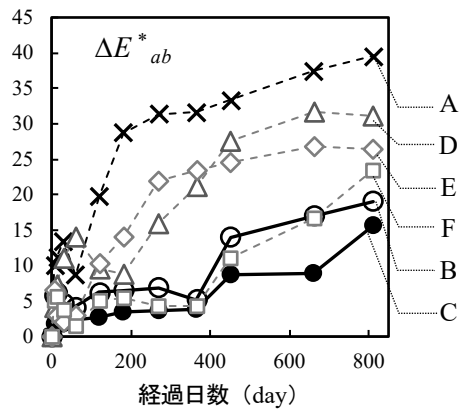


図4 試験中の ΔE^*_{ab} の変化

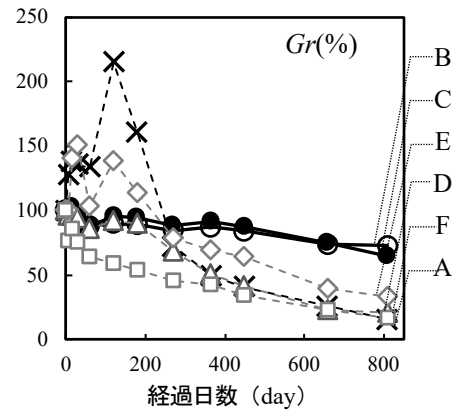


図6 試験中のGrの変化

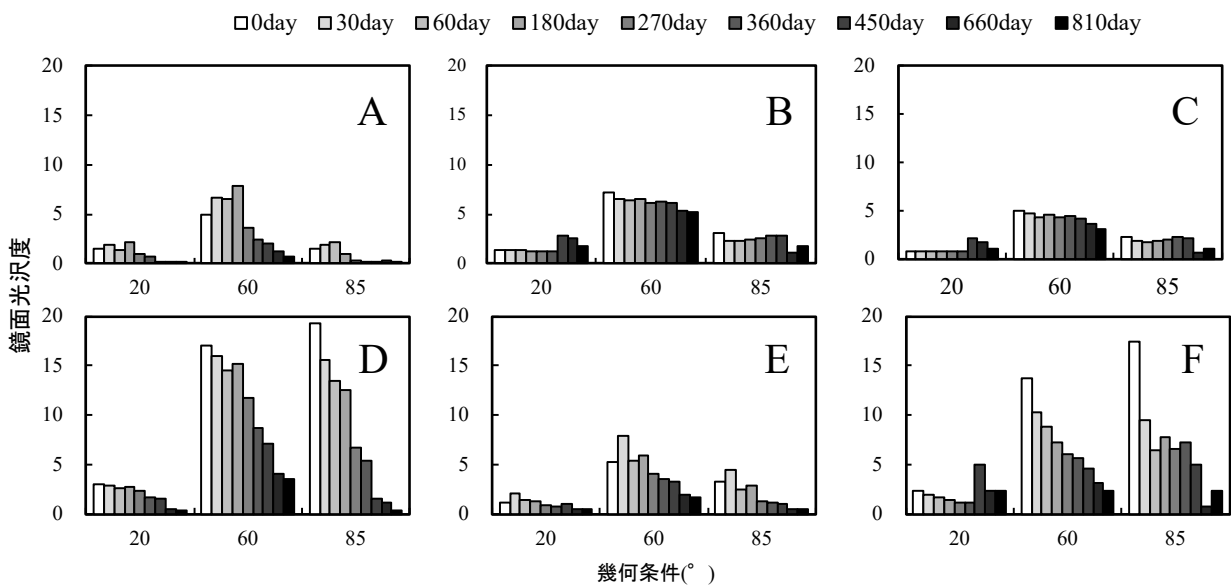


図5 各仕様の幾何条件による鏡面光沢度の変化

られるものの、変化が少なかった。仕様Eでは無塗装（仕様A）とほぼ同様であった。他方で幾何条件による光沢が無塗装（仕様A）と異なった仕様D、Fに関しては、角度が大きいくほど光沢の減少が大きくなり、仕様Dに関しては経過360日から85°の光沢が60°を下回り、初期の無塗装（仕様A）に近い値となった。

図6に試験中のGr（光沢保持率）の変化を示す。試験810日の時点でGrは高い順で仕様B、C、E、D、F、Aとなり、試作品（仕様B、C）では他の仕様より高くなった。

4. 総括

4.1 得られた知見

本稿では、国産木材活用推進の一助となることを目的とし試作した木材の「風合い」を損なわない塗装仕様について、性能評価の一環として屋外暴露試験を結果810日まで実施した結果を示した。試作した塗装仕様について下記の結果を得た。

- 1) 暴露前、試作品は比較品より素地に近い初期測定値を有し、塗装により素地の風合いを損ねていない可能性があった。
- 2) 色差に関して、暴露経過810日まで試作品は比較品より小さい値となった。
- 3) 光沢に関して、暴露経過810日まで試作品は比較品より保持率が高かった。

4.2 今後の課題

試作品について、比較品より小さかったものの、色差が360日以降に大きく変化した。これは、主に素地の着色成分の流出によるものと考えられる。そのため、素地に対して下塗りなどを行うことにより経過1年以降の着色成分流出防止あるいは定期的な塗装改修による維持管理に関して検討の必要があるものと思われる。また、「風合い」について測定値との対応を調査するため印象評価を行う必要がある。

参考文献

- 1) “第3章 第2節 木材利用の動向”. 令和2年度 森林・林業白書. 林野庁.p.171-196 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/R2hakusyo/zenbun.html> (参照2021年7月1日)
- 2) 増田 ほか, 国産木材利用促進を目的とした塗装仕様の評価その1, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p.703-704, (2020.09)
- 3) 山本 ほか, 国産木材利用促進を目的とした塗装仕様の評価その2, 日本建築学会大会学術講演会梗概集, p.705-706, (2020.09)
- 4) 市川 ほか, 建築物外装への使用を想定した木部用塗料の屋外ばく露試験その1, 第71回日本木材学会大会（東京大会）研究発表要旨集（2021）
- 5) 日本塗料工業会編：塗料の機能性,p.65-69,(2018)
- 6) Emilia-Adela Salca, Glossiness Evaluation of Coated Wood Surface as Function of Varnish Type and Exposure to Different Conditions, Coatings 2021, 11, p.558 -
- 7) Pavlo Bekhta ;, Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Gaertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.) and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers, Eur. J. Wood Prod. (2014), 72, p.799-808
- 8) 齋藤 ほか, 画像解析による木質床材の外観評価, パナソニック技報, Vol.62, No.1, p.56-61, (2016.5)