

# UV レーザプラストによる木材塗装の高耐久化の試み

あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター

野村昌樹、福田聡史

## 1. はじめに

近年、木材のエクステリア利用に対する需要が高まっている。木材の屋外利用にあたっては、美観の維持や生物劣化の抑制を目的に塗装による保護が講じられることが多いが、塗り替えメンテナンスが不可欠であり、塗装寿命の長期化が求められている。

一方、我々は最近の研究において、紫外線波長の短パルスレーザーを利用してマイクロサイズの微細孔を木材の表面に施すことで、美観を損なうことなく木材表層の流体浸透性を飛躍的に高めることに成功している<sup>1,2)</sup>。そこで本研究ではこのUVレーザープラスト処理により木材保護塗料の浸透量増大を図り、塗装木材の耐久性を向上させることを試みた。

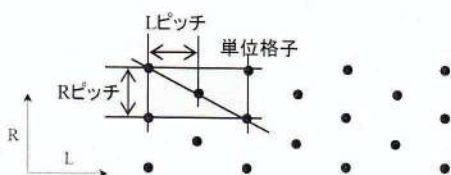
## 2. 実験方法

### 2.1 試料およびレーザー加工・塗装条件

プレーナーで仕上げた気乾状態のスギおよびカラマツ心材を試料とし、この柾目表面にLD 励起 Q スイッチ固体レーザー TALON-355-15SH (Spectra-Physics 製) を用いて穿孔加工を施した。レーザー加工はガルバノスキャナ YD-200-OP (ワイ・イー・データ製) を介して表 1、図 1 および表 2 に示す照射条件、パターンおよび加工条件で実施した。塗装はブラウン系の油性含浸形木材保護塗料であるキシラデコール#105 カスタニまたは水性半造膜形木材保護塗料であるキシラデコールウッドコート#2005 カスタニ (いずれも JASS 18 M-307 適合品 大阪ガスケミカル製) を用いた刷毛塗りとし、その塗布条件および合計塗布量は表 2 に示すとおりである。ここで、塗布回数はスギの場合標準的なものとし、カラマツの場合は晩材部に塗膜が生じ始めるまでとした。

表 1 レーザ照射条件

波長 (nm)	355
パルス幅 (ns)	12
パルスエネルギー (μJ)	240
ガルバノ入力ビーム径 (mm)	3.7
焦点距離 (mm)	174
理論集光径 (μm)	25



穴数 (穴/cm <sup>2</sup> )	Rピッチ (μm)	Lピッチ (μm)
1000	200	500
2000	100	500
4000	100	250

図 1 レーザ加工パターン

表 2 レーザ加工条件、塗装条件と塗布量

試料	樹種	レーザー加工条件		塗装条件		
		パルス数* (回/穴)	穴数 (穴/cm <sup>2</sup> )	塗料種別	塗布回数 (回)	塗布量 (g/m <sup>2</sup> )
CP-1	スギ	1	2000	含浸形	2	117
CP-2	スギ	3	2000	含浸形	2	190
CP-3	スギ	5	1000	含浸形	2	191
CP-4	スギ	5	2000	含浸形	2	280
CP-5	スギ	5	2000	含浸形	3	332
CP-6	スギ	5	4000	含浸形	2	350
CP-7	スギ	10	2000	含浸形	2	447
CP-Control	スギ	-	-	含浸形	2	59
LP-1	カラマツ	1	2000	含浸形	3	147
LP-2	カラマツ	1	4000	含浸形	4	227
LP-3	カラマツ	2	1000	含浸形	3	151
LP-4	カラマツ	2	2000	含浸形	4	246
LP-5	カラマツ	2	4000	含浸形	4	363
LP-6	カラマツ	3	2000	含浸形	4	321
LP-Control-1	カラマツ	-	-	含浸形	2	58
LP-Control-2	カラマツ	-	-	含浸形	4	88
CS-1	スギ	1	2000	半造膜形	2	138
CS-2	スギ	1	4000	半造膜形	2	156
CS-3	スギ	3	2000	半造膜形	2	193
CS-4	スギ	3	4000	半造膜形	2	254
CS-Control	スギ	-	-	半造膜形	2	117

\*スギにおける1穴あたりのパルス照射回数と早材部の孔深さの測定値(n=6)  
(1回: 86μm, 3回: 214μm, 5回: 301μm, 10回: 630μm)

### 2.2 耐候性試験

塗装後の試料は常温で1週間養生した後、サンシャインウェザーメータ (スガ試験機製) を用いて含浸形

は合計 2500 時間まで、半造膜形は合計 4500 時間まで促進耐候性試験に供した。試験中は一定時間毎に試験料を取出し、次項以降に示す方法により劣化を評価した。試験条件は BPT 63°C、120 分サイクル（102 分照射、続く 18 分照射および噴霧）とした。

### 2.3 材色評価

分光色差計 NF333（日本電色工業製）を用いて分光測色を行い、定位置 3 箇所における試験前後の色差  $\Delta E^*ab$  を平均した。測色条件は、光源 D65、視野角 10°、測色部直径 8mm とした。

### 2.4 撥水度評価

優良木質建材等認証（AQ）に定められる品質性能評価基準 N-2 耐候性塗装木質建材<sup>3)</sup>により、試験片中央部に約 1g の蒸留水を滴下し、1 分間静置した後に水滴を拭き取ってその浸透量から次式により撥水度を求めた。

$$\text{撥水度}(\%) = (1 - \text{浸透量} / \text{滴下量}) \times 100$$

### 2.5 外観観察

IT8 ターゲットを用い、プロフィール作成ソフト i1Scanner（エックスライト製）で色補正されたカラー スキャナ GT-X980（エプソン製）を使用して試験料の外観をスキャンした。

### 2.6 X線顕微鏡観察

X線顕微鏡 nano3DX（リガク製）を用いて木口面における表層部の状態（塗料の分布および基材の割れ）を観察した。測定条件は管電圧 40kV、管電流 30mA、X線ターゲット Cu とした。観察断面は図 2 に示す穿孔列上と穿孔列間の 2 箇所とした。

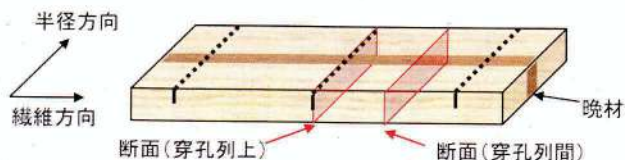


図 2 X線顕微鏡による観察断面

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 塗装

含浸形塗料をスギに標準回数（2～3回）塗布した場合、レーザ加工による塗布量は最大で未加工材の 8 倍程度に達するにも関わらず塗膜は発生せず、いずれも含浸形としての風合を損なわないマットな仕上がりであった。カラマツの場合、スギに比べて浅い穿孔加工条件で晩材部に塗膜が生じ始めるまで多回塗布したところ、塗布回数は 3～4 回に収まり、その塗布量はスギと同程度の範囲に分布した。比較のため過剰回数塗布したカラマツ未加工材 LP-Control-2 に限り、試験表面の半分以上を覆う塗膜が発生した。

半造膜形塗料は含浸形と比べて浸透性が低く設計されており、標準塗布回数であっても塗料がレーザ孔に浸透しつつもこれらを閉塞して塗膜を形成し、未加工塗装材と同等の仕上がりとなった。

### 3.2 材色評価

含浸形塗料を用いた場合の塗布量と試験前後の色差の関係を図 3 に示す。未加工材（CP-Control、LP-Control-1）の  $\Delta E^*ab$  は塗替え目安とされる 13～14<sup>4)</sup>を大幅に上回る一方で、レーザ加工材は塗布量の増加に伴い  $\Delta E^*ab$  が低下する傾向を示すと共に、いずれの条

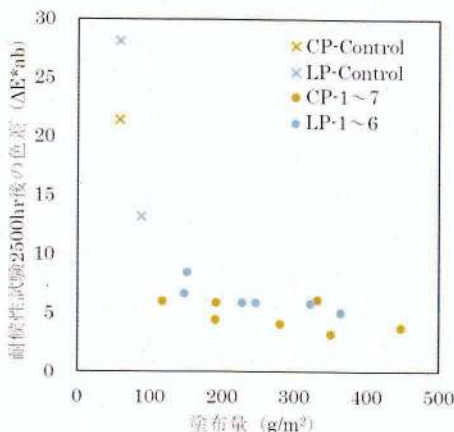


図 3 塗布量と色差の関係（含浸形）

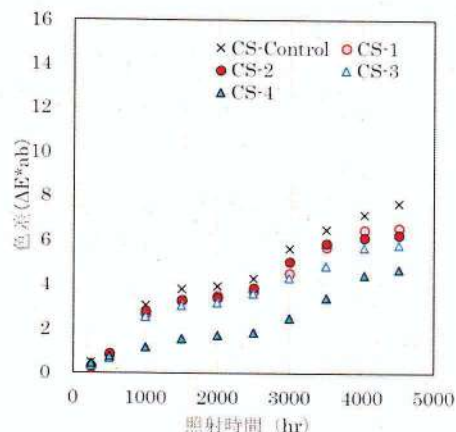


図 4 照射時間と色差の関係（半造膜）

件においてもスギの場合は6以下を、カラマツの場合は8以下を維持して色変化が大幅に抑制された。なお、塗料を造膜するまで過剰に塗布した未加工材 LP-Control-2 であっても  $\Delta E^*ab$  が塗替え目安に達したことから、含浸形としての風合を維持しつつ耐候性を高めるためには、レーザ加工による塗布量の増加が重要であることが明らかになった。

図4に半造膜形塗料を用いた場合の照射時間と色差の関係を示すが、4500時間照射後の未加工材 CS-Control であっても  $\Delta E^*ab$  8以下であり、造膜形特有の高い耐候性能を示した。レーザ加工による塗布量の増加に伴い  $\Delta E^*ab$  はさらに低下し、最も加工度の高い CS-4 では5以下を示したことから、半造膜形の場合もレーザ加工が耐候性能の向上に効果的であることが示された。

### 3.3 撥水度評価

含浸形塗料を用いた場合の塗布量と試験後の撥水度の関係を図5に示す。未加工材 (CP-Control、LP-Control) の撥水度はいずれも25%未満まで低下したが、レーザ加工材はスギの場合いずれの加工条件においても98%以上を維持し、AQの耐浸形1種で要求される95%を上回る高い性能を維持

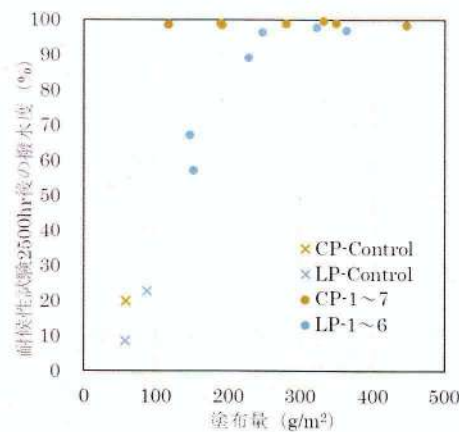


図5 塗布量と撥水度の関係 (含浸形)

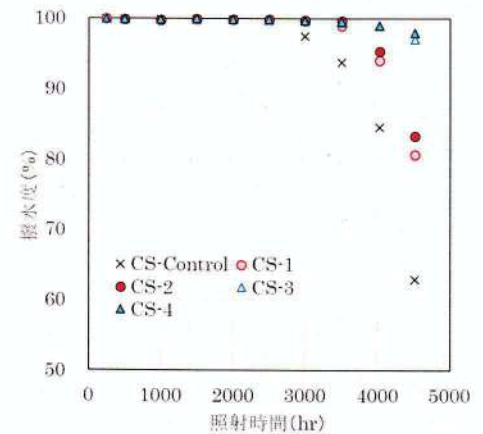


図6 照射時間と撥水度の関係 (半造膜)

した。カラマツの場合は塗布量が250g/m<sup>2</sup>を超える条件においてこれを達成した。

半造膜形塗料を用いた場合の照射時間と撥水度の関係を図6に示す。色差と同様にレーザ加工による塗布量の増加に応じて高い撥水度を維持し、3パルスの加工条件 (CS-3、CS-4) では4500時間照射後においても95%以上を示した。これは未加工材 CS-Control の3000時間照射後における撥水度と同等レベルであることから、レーザ加工は撥水度劣化の抑制にも有効であることが示された。

### 3.4 外観観察

図7に促進耐候性試験後における外観画像の一例を示す。標準的な塗布回数を定めた含浸形塗装スギの場合、未加工材では全面的に塗料脱離による大きな退色が生じると共に目立った基材割れが多数発生した。一方、レーザ加工材では全面的な色変化は軽微に抑制されたが、条件によっては局部的な退色や微細な基材割れが生じた。低加工度の条件 (CP-1、CP-3) においては、早材部を中心に微細な基材割れが散見される傾向にあった。これは加工度の増大に伴い著しく軽減され、高加工度の条件 (CP-6、CP-7) においては極軽微であったものの、この場合には逆に低加工度では目立たなかった晩材部に添う筋状の局部的な退色が顕著に認められた。この晩材部近傍の退色は色差や撥水度等の性能値には特に影響を与えなかったものの、程度によっては美観上の欠陥と見なされる可能性が懸念される。

本実験系における中間的な加工度である CP-4 にも筋状の軽微な退色が生じたが、塗布回数を増やした CP-5 にはこのような不均一な退色は見られなかった。また CP-5 の塗布量は332g/m<sup>2</sup>であり、CP-7 の塗布量447g/m<sup>2</sup>に比べて少ないにも関わらず均質で良好な外観を維持したことから、外観劣化形態は単に塗布量のみには依存するとは限らず、レーザ加工形態と塗料分布に因るところも大きいと考えられる。つまりスギ等の材内密度の偏りが大きい木材では、レーザ加工によって加工性および浸透性の良い早材部の浸透容量が極端に向上し、標準的な塗布回数では増加した浸透容量を充足できずに早材部に偏った塗料分布になると予想される。従って塗装面の美観を均質に維持するためには、一定レベル以上のレーザ加工を施すだけ

でなく、これによって増加した浸透容量を充足し、塗料を晩材部まで均質に分布させることが重要であると考えられる。

この結果を踏まえ、カラマツでは晩材部に塗膜が生じ始めるまでの塗布回数を定めた。カラマツの場合、標準塗布回数の未加工材 LP-Control-1 はスギ以上の外観劣化が生じ、造膜するまで過剰塗布した LP-Control-2 であっても大小多数の基材割れが発生した。一方、レーザ加工材の場合、低加工度では依然基材割れおよび塗料脱離が目立つものの、スギと同様に加工度の増大に伴い早材部の割れが軽減され、さらに多回塗布の効果により晩材部の淡色化も目立たなくなった。色差や撥水度等に影響を与えない程度の部分的な割れが生じる試料も確認されたが、これはカラマツ心材がスギ心材に比べて塗料の浸透性が低いことに加え、元来割れが生じやすい樹種であることが原因であると考えられ、高加工度のレーザ処理により抑制できる可能性がある。

次に半造膜形塗料を塗布したスギの場合、4500 時間照射後のいずれの条件でも早晚材共に目立った塗料脱離は見られなかった。ただし未加工材 CS-Control では早材部を中心に無数の微細な基材割れが発生しており、これが撥水度の低下に影響しているものと考えられる。微細割れは加工度の増大に伴って軽減されることから、半造膜形の場合、その美観および耐候性能は晩材部よりむしろ早材部への塗料浸透の影響が大きいものと考えられる。

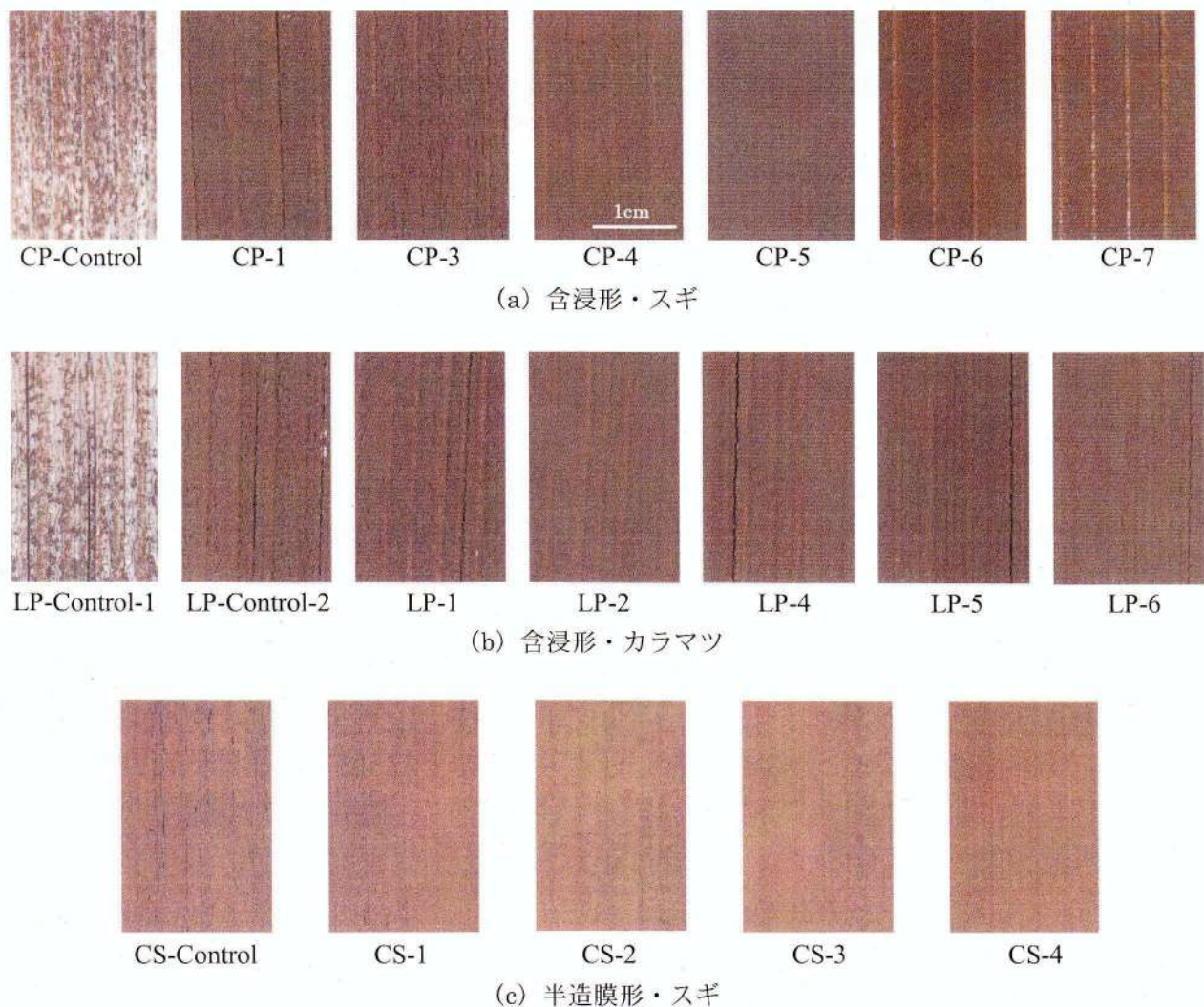


図7 促進耐候性試験後の試料表面の外観

(a) 含浸形・スギ、(b) 含浸形・カラマツ、(c) 半造膜形・スギ

### 3.5 X線顕微鏡観察

図8にX線顕微鏡測定により得られた2500時間照射後のレーザ加工スギ(含浸形塗料塗装)の断面の一例を示す。塗料はレーザ孔の底部まで達し、早材部では隣接する細胞に浸透し、晩材部では孔内の一部に充填されている様子が確認できる。穿孔が最も浅いCP-1では、深さ80 $\mu\text{m}$ 程度の加工層を超えて400 $\mu\text{m}$ まで至る亀裂が早材部に散見された。塗料浸透性の高い早材部の穿孔列上であっても深い割れが発生したことは、穿孔深さおよび塗料の絶対的な不足を示唆している。また、穿孔列上に比べ孔列間の割れが多い原因として、繊維方向の穿孔数の不足が招く塗料分布の不均一性が考えられる。

穿孔を深く施したCP-7では、早材部のより深層まで塗料が浸透し、割れは極軽微であった。しかし、晩材部に限っては穿孔を起点に基材割れが発生し、繊維方向に進展している様子が確認できる。つまり、外観観察で退色した部分には多数の微細な割れが生じていることになる。一方、試験後の外観が均質で良好であったCP-5の断面画像には晩材部の基材割れは認められなかった。そこで晩材部の穿孔に着目すると、試験後においても孔内に一定量の塗料が残留していた。このことから、穿孔によっても隣接細胞への塗料浸透が乏しい晩材部では、多回塗布によって孔内に十分量の塗料が充填されることにより、基材割れが抑制されたものと推察される。

### 4. まとめ

木材表面をUVレーザプラスト処理することにより、含浸形および半造膜形木材保護塗料の浸透性が著しく向上し、塗装木材の耐久性能が飛躍的に向上することが示された。一方でレーザの加工性は密度に依存するため、スギのような材内密度の偏りが大きい木材では早晚材間で加工深さが異なる。またこれらの間では元来浸透性も異なるため、レーザの加工度が增大すると全体としての材色変化や撥水度劣化は抑制されるものの、特に含浸形塗料の場合は早晚材間で塗料の浸透容量および浸透速度に極端な差が生じ、これらの劣る晩材部では塗料が欠乏して穿孔を起点とする基材割れが発生し易いことも明らかになった。したがって含浸形塗料塗装木材の美観を均質に維持するためには、多回塗布等によりレーザ加工で増加した浸透容量を充足させ、晩材部まで塗料を充填させることが重要であると考えられる。

### 参考文献

- 1) 福田聡史ほか：木材学会誌, 64 (1), 28-35 (2018)
- 2) 野村昌樹, 福田聡史：木材工業, 73(1), 8-12 (2018)
- 3) 日本住宅・木材技術センター：優良木質建材等の品質性能評価基準 N-2 耐候性塗装木質建材
- 4) 片岡厚ほか：日本木材保存協会年次大会論文集, 24, 52-53 (2008)

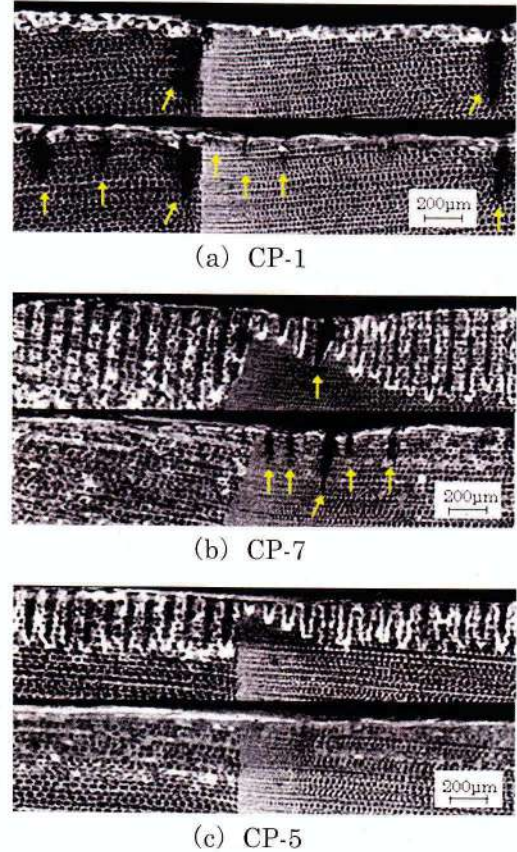


図8 促進耐候性試験後における試料表面のX線顕微鏡画像

(a) CP-1, (b) CP-7, (c) CP-5

※ 上段：穿孔列上、下段：穿孔列間

※ 图中矢印は割れ部分を示す