

含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用して 処理したトドマツ材の耐朽性評価

杉山 智昭 澤田 哲則¹
安井 文期² 安井 元和²

Improvement of the Durability of Todomatsu (*Abies sachalinensis*) Wood by a Combination Treatment Using Penetration Type and Film-Forming Type Finishes.

Tomoaki SUGIYAMA Tetsunori SAWADA
Fumiki YASUI Motokazu YASUI

The durability of todomatsu (*Abies sachalinensis*) wood treated with penetration type finish and film-forming type clear finish (P/F treatment) was evaluated. After the wet and dry cyclic exposure, and decay tests (using brown and white rot fungi), extensive surface failure on the coating film was not observed. Compared with single treatments (i.e. individual finishing with a penetration type finish or film-forming type finish), P/F "combination" treatment showed remarkable ability to suppress the mass loss of todomatsu specimens.

With regard to buna (*Fagus crenata*) specimens, comparatively extensive failure of the film was observed after the wet and dry cyclic exposure, so P/F treatment did not exhibit enough durability against the decay fungus.

Key words: *Abies sachalinensis*, durability, penetration type finish, film-forming type finish
トドマツ, 耐朽性, 含浸型木材保護塗料, 造膜型表面保護塗料

トドマツ材へ簡易に耐朽性を付与する技術として、含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用する表面処理法（P/F処理）について検討を行った。溶脱・揮散繰り返しによる耐候操作および褐色腐朽菌と白色腐朽菌を用いた抗菌操作後も、試験体に顕著な塗膜の劣化は認められなかった。含浸型木材保護塗料あるいは造膜型表面保護塗料をそれぞれ単独処理した試験体と比較すると、P/F処理試験体では顕著な質量減少の抑制が確認された。

対照として用いたブナ試験体については、耐候操作後に広範な塗膜劣化が生じ、P/F処理を行った試験体においてもトドマツで観察されたような耐朽性の向上は観察されなかった。

1. はじめに

トドマツはカラマツとともに北海道を代表する人工造林樹種であり、豊富な資源蓄積を背景に構造用材として広く利用されている。一方、その小径間伐材やブレカット加工に伴って発生する大量の端材については、主にパルプチップ用に加工されてきたが、安価な輸入品との価格競争により需要が低迷している¹⁾。これらトドマツ未利用材の新規用途開発・有効利用は、北海道内における木材産業の振興ならびに資源リサイクルを推進する上で重要である。

近年、環境への調和を重視した公共事業の増加やガーデニングブームにより、フェンスやデッキ材などのエクステリアにも木質系資材が広く利用される傾向にあり^{2,3)}、これを受けて未利用材を用いた製品の開発にも大きな期待が寄せられている¹⁾。しかし屋外で木材を使用する場合には、腐朽による劣化が発生するため、適切な防腐処理を行い製品の耐用年数の延長を図ることが必要不可欠である。また、商品価値の低い未利用材を防腐処理した上で製品化するためには、特に簡易かつコストパフォーマンスに優れた処理方法を選択しなければならない。一般的に実施されている処理方法のうち塗装による処理は加圧注入処理などと比較し、特別な設備を要さず、使用薬剤が少なく、現場での処理・メンテナンスが可能であるなど、実用化に適した条件を備えている。現在では塗料中に防腐・防かび剤やハッ水剤などを含んだ含浸型の木材保護塗料も多数市販されており、現場処理用の防腐剤として使用されている⁴⁾。しかし、塗膜を形成しない含浸型木材保護塗料を用いて塗装処理を行った場合、木材表面からの薬剤溶脱による^{5,6)}防腐性能の低下が問題となる。

そこで本研究では、トドマツの未利用材を用いたエクステリア製品に簡易な方法で高い耐朽性を付与し、防腐効果を長期持続させることを目的として、防腐剤を含有する含浸型の木材保護塗料とともに基材保護および防腐剤の溶脱防止のため、造膜型の表面保護塗料を併用した防腐処理方法について検討し、耐朽性の評価を行った。

なお、本研究は林産試験場と株式会社ゼストシステム(旭川市)との共同研究の一部として平成13年度に実施したものである。

2. 材料

2.1 供試薬剤

市販の含浸型木材保護塗料(A社製、水性、色調:パイン)、および造膜型表面保護塗料(B社製、水性、色調:クリア)を供試薬剤として用いた。なお、造膜型の表面保護塗料を使用する際には、あらかじめ下地調整剤(B社製)を塗布した。

2.2 供試菌

褐色腐朽菌としてオオウズラタケ(*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv. FFPRI 0507)、白色腐朽菌としてカワラタケ(*Trametes versicolor* (L. Fr.) Pilát. FFPRI 1030)を用いた。

2.3 培養基

培養びん(底面の外径7.5cm、口径6cm、高さ13cm、容積500ml)に石英砂(20~30メッシュ)200g、培養液(麦芽抽出物1.5%、ペプトン0.3%、グルコース4%)60mlを加え、オオウズラタケにはエゾマツ木粉(20メッシュ)0.5gを、カワラタケにはカンバ木粉(20メッシュ)1.5gを表面に散布したものを培養基として用いた。PDA平板培地からコルクボーラーを用いて打ち抜いた供試菌をオートクレーブ殺菌(121℃、25分間)した培養基に接種し、26℃で培養後、菌そうが培養基表面に十分広がったものを試験に供した。

2.4 試験体

試験体の基材には北海道産のトドマツ(*Abies sachalinensis*)を用いた。なお、対照として広葉樹のブナ(*Fagus crenata*)も試験に加えた。気乾状態のトドマツおよびブナの辺材から寸法2φ(半径方向)×φ(接線方向)×40mm(繊維方向)の木材片を作成し、各面を平滑にかな仕上げした後に、木口面を常温硬化型のエポキシ樹脂でシールしたものを基材とした。処理試験体については樹脂でシールされている木口面を除いた全表面に供試薬剤を塗布した。

処理条件は以下の4種類とし、トドマツ、ブナの両樹種について供試菌ごとに各9個ずつ試験体を調製した。

- 1)含浸型木材保護塗料を塗布し乾燥させた後、下地調整剤を塗布し乾燥させ、その上に造膜型表面保護塗料を塗布(以下、P/F処理とする)
- 2)含浸型木材保護塗料のみを塗布(以下、P処理とする)

- 3) 下地調整剤と造膜型表面保護塗料のみを塗布(以下、F処理とする)
- 4) 無処理

各供試薬剤の吸収量は含浸型木材保護塗料:110±10g/m²、下地調整剤:70±10g/m²、造膜型表面保護塗料:50±10g/m²となるよう調製した。調製された処理試験体は、室温で7日間風乾した後、試験に供した。

なお、各試験体の薬剤吸収量は次式によって求めた。

$$\text{薬剤吸収量 (g/m}^2\text{)} = \frac{W_1 - W_2}{A}$$

ここで

W₁: 薬剤吸収後の試験体の質量(g)

W₂: 薬剤吸収前の試験体の質量(g)

A: 試験体の両木口面を除いた表面積(m²)

3. 試験方法

(社)日本木材保存協会規格 第1号に規定される塗布・吹付け・浸せき処理用木材防腐剤の防腐効力試験方法(現 JWPS-FW-S.1に改変)に準じた試験を実施し、耐朽性の評価を行った。

3.1 耐候操作

同じ表面処理法によって調製した試験体を3個ずつテフロン製の板枠にはめ、容積500mlのビーカー内で試験体容積の10倍量の蒸留水中に常温で5時間浸せきし薬剤の溶脱操作を行った。溶脱操作終了後、試験体を取り出し、40℃の温風循環式乾燥機中に19時間静置して揮発させた。以上の操作を交互に連続して30回繰り返し実施した。なお、使用する蒸留水は操作の繰り返しごとに新しいものと交換した。

耐候操作の終了後、試験体を60℃の循環式乾燥機中で48時間乾燥し、30分間、シリカゲル入りのデシケーター中で放冷後、質量の測定を行った。

3.2 抗菌操作

耐候操作終了後、再び同じ表面処理法によって調製した試験体をテフロン製の板枠にはめ、エチレンオキシサイドガスで6時間殺菌を行った。続いて、2.3で調製済みの培養基に対し、クリーンベンチ内で1培養びんあたり板枠にはめた3個の試験体を40×5mmの面が下になるように菌そうに載せ、26℃に保ったインキュ

ベーター内に8週間おいて試験体を木材腐朽菌に暴露した。

規格に従って、対照として用いたブナ試験体については白色腐朽菌のカワラタケのみ供試したが、トドマツ試験体については褐色腐朽菌であるオオウズラタケと白色腐朽菌のカワラタケの2種を使用して抗菌操作を行った。なお、オオウズラタケを用いた場合には試験体が直接菌そうに接触しないようプラスチックネットを介し試験体を設置した。8週間経過後、試験体を取り出し、表面に付着している菌糸を取り除き、24時間風乾を行った。さらに試験体を60℃の温風循環式乾燥機中で48時間乾燥し、その後30分間、シリカゲル入りのデシケーター中で放冷した後、質量の測定を行った。

3.3 防腐効力の評価

防腐効力については抗菌操作後の処理試験体の平均質量減少率によって評価を行った。

なお、個々の試験体の質量減少率は次の式によって与えられる。

$$\text{質量減少率 (\%)} = \frac{W_3 - W_4}{W_3} \times 100$$

ここで

W₃: 耐候操作終了後、60℃で48時間乾燥した試験体の質量(g)

W₄: 抗菌操作終了後、60℃で48時間乾燥した試験体の質量(g)

4. 結果および考察

4.1 薬剤吸収量

第1表に本研究で用いた各試験体についての平均薬剤吸収量を示す。今回用いた含浸型木材保護塗料、下地調整剤、造膜型表面保護塗料の全てについて、試験体の樹種および処理方法の違いによる塗装障害は観察されず、全試験体に対して所定量の薬剤吸収を達成することができた。

4.2 表面状態の観察

4.2.1 耐候操作終了後

耐候操作を終えた試験体の表面状態を目視によって観察したところ、トドマツにおいては、P/F処理およびF処理を行った試験体で軽微な塗膜の割れが部分的に

第1表 試験体および平均薬剤吸収量
Table 1. List of specimens and the average retention of treating solutions.

基材樹種 Species of the base wood	表面処理方法 (略号) Surface treatments (Abbr.)	試験体数 Number of repeat	供 試 菌 ¹⁾ Test fungi ¹⁾	平均薬剤吸収量 (g/m ²) ± S.D. ²⁾ Average retention (g/m ²) ± S.D. ²⁾			
				含浸型木材保護塗料 Penetration type finish	下地調整剤 Base primer	造膜型表面保護塗料 Film-forming type clear finish	
トドマツ <i>Abies sachalinensis</i>	含浸型木材保護塗料 Penetration type finish + 造膜型表面保護塗料 Film-forming type clear finish (P/F)	9	オオウズラタケ <i>Fomitopsis palustris</i>	112.7 ± 3.0	75.2 ± 2.4	52.3 ± 1.8	
		9	カワラタケ <i>Trametes versicolor</i>	115.4 ± 3.6	71.8 ± 2.4	52.1 ± 1.8	
	含浸型木材保護塗料 Penetration type finish (P)	9	オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	113.0 ± 3.1	—	—	
		9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	111.8 ± 2.7	—	—	
	造膜型表面保護塗料 Film-forming type clear finish (F)	9	オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	—	75.4 ± 2.2	52.3 ± 1.6	
		9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	—	73.6 ± 3.0	52.0 ± 1.8	
	無 処 理 Untreated (C)	9	オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	—	—	—	
		9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	—	—	—	
	ブ ナ <i>Fagus crenata</i>	含浸型木材保護塗料 Penetration type finish + 造膜型表面保護塗料 Film-forming type clear finish (P/F)	9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	112.6 ± 2.0	73.7 ± 2.9	51.9 ± 1.5
			9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	112.3 ± 3.9	—	—
造膜型表面保護塗料 Film-forming type clear finish (F)		9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	—	75.9 ± 2.2	51.7 ± 1.3	
		9	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	—	—	—	

注) 1) : オオウズラタケ : FFPRI 0507株, カワラタケ : FFPRI 1030株, 2) : S.D. : 標準偏差

Note) 1) : *Fomitopsis palustris* : FFPRI 0507 strain, *Trametes versicolor* : FFPRI 1030 strain; 2) : S.D.: Standard deviation.

発生していた。ブナの試験体においてもP/F処理およびF処理を行ったものに塗膜の割れ・はがれが生じたが、劣化はトドマツより大きく広がっている傾向が観察された。

4.2.2 抗菌操作終了後

トドマツのP/F処理, F処理を行った試験体には耐候操作終了後と比較して、塗膜劣化の進行は観察されなかった。一方, P/F処理およびF処理を行ったブナの試験体については、耐候操作終了後に顕著な塗膜劣化が発生していなかった試験体にも割れ・はがれの著しい進行が観察された。P処理を行った試験体については両樹種ともに全体的に軽微な退色が観察された。第2表に耐候操作および抗菌操作の各終了時における試験体表面の観察結果を示す。今回、耐候操作と抗菌

操作を通じた表面観察の結果、トドマツとブナの両樹種間で、造膜型表面保護塗料の定着性に差があることが明らかとなった。

抗菌操作前において木材表層の塗膜形成を阻害,あるいは劣化させる要因としては、疎水性の抽出成分によるぬれ性の低下や表面組織構造の不均一性などとともに、木材の膨潤・収縮による寸法変化があげられる⁷⁻¹¹⁾。先に述べたように、本研究において両樹種とも試験体調製の際に塗装障害は認められず、所定量の薬剤吸収が達成され、その後の養生期間においても欠点は観察されなかった。このことから塗膜の劣化は主として、耐候操作中に侵入した水分により基材である木材と塗膜間での吸水膨潤性の差が顕在化し⁷⁾凝集破壊や界面破壊が発生したことによって引き起こされた

第2表 耐候および抗菌操作後の試験体表面観察結果

Table 2. Surface condition of specimens after the wet and dry cyclic exposure and decay test.

基材樹種 Species of the base wood	表面処理方法 Surface treatment	供試菌 Test fungi	耐候操作後 After the wet and dry cyclic exposure	抗菌操作後 After the decay test
トドマツ <i>A. sachalinensis</i>	P/F	オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	+	+
		カワラタケ <i>T. versicolor</i>	+	+
		オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	-	++
	P	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	-	++
		オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	+	+
		カワラタケ <i>T. versicolor</i>	+	+
	F	オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	+	++
		カワラタケ <i>T. versicolor</i>	-	++
		オオウズラタケ <i>F. palustris</i>	+	+
ブナ <i>F. crenata</i>	P/F	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	++	+++
	P	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	-	++
	F	カワラタケ <i>T. versicolor</i>	++	+++

凡例) +++ : 全面的に大きな塗膜劣化, 退(変)色が発生, ++ : 全面的に軽微な塗膜劣化, 退(変)色が発生,

+ : 軽微な塗膜劣化, 退(変)色が局所的に発生, - : 外見上は変化が観察されない

Legend) +++ : Severe crack, peeling, discoloration ; ++ : Slight but widespread crack, peeling, discoloration ;

+ : Slight crack, peeling, discoloration; - : Sound

注) P/F, P, Fについては第1表参照

Note) See Table 1. for P/F, P and F.

ものと考えられる⁹⁾。

既報により, 樹種別の気乾比重についてはトドマツが0.41, ブナが0.68と報告されている¹²⁾。一般に比重の高い材ほど湿度条件による容積変化率が大きいとされる¹²⁾ことから, トドマツと比較してブナ試験体に広範な塗膜劣化が観察されたことは, 耐候操作によって塗膜に生じたひずみがブナ試験体でより大きかったためと考えられる。

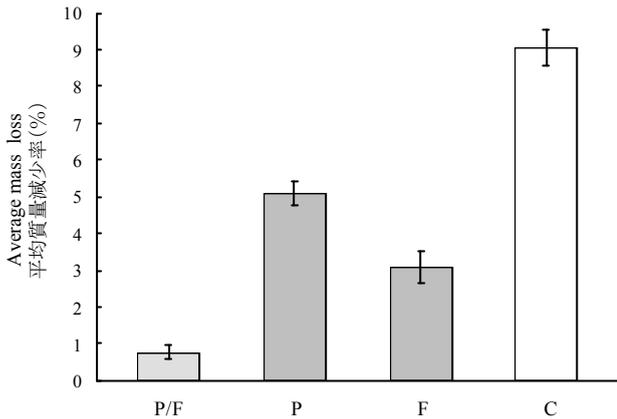
4.3 表面処理試験体の防腐効力

第1図にトドマツの各試験体について, オオウズラタケを供試菌として抗菌操作を行った場合の平均質量減少率を示す。無処理条件では平均質量減少率が9.1%となっているのに対し, P処理ではその値が5.1%, F処理では3.1%とそれぞれ減少率が低下している。防腐剤を含有しているP処理が塗料中に防腐剤を含まないF処理よりも高い質量減少を示した原因として, P処理は防腐剤の溶脱による防腐効力の低下とともに, 基材

表面が常に直接, 菌糸と接触する状態にあったため, 塗膜に基材表面が保護されたF処理よりも腐朽が進行しやすかったものと考えられる。

P/F処理を行った試験体については, 平均質量減少率が0.8%まで抑えられた。F処理において, 塗膜は主に外部より侵入する水分や腐朽菌に対しての障壁として作用しているが, 含浸型と造膜型の2種類の塗料を併用したP/F処理においては, 試験体表面より防腐剤が溶脱するのを防止する作用も果たしていると考えられる。すなわちP/F処理が他の条件と比較して顕著な平均質量減少率の抑制能力を有するのは, 木材表面に形成された塗膜による基材保護作用と薬剤溶脱抑制効果が耐朽性向上に寄与したためと考えられる。

第2図にカワラタケを供試菌としてトドマツ試験体に対して抗菌操作を行った場合の平均質量減少率を示す。オオウズラタケ同様, P/F処理条件で最も低い平均質量減少率(0.4%)が得られたが, P処理の平均質量

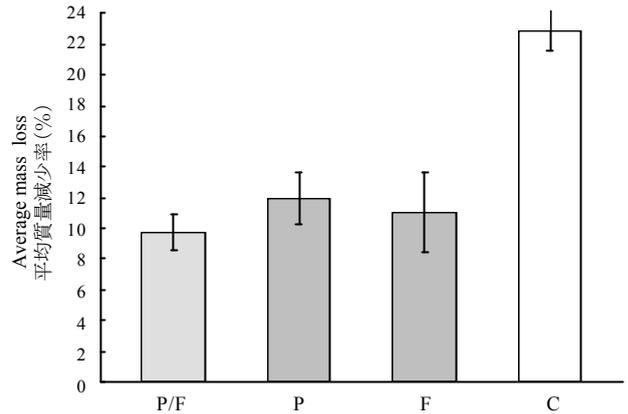


第1図 トドマツ試験体の平均質量減少率 (供試菌: オオウズラタケ)

注) 1): P/F, P, F, Cについては第1表参照, 2): 棒は標準誤差

Fig. 1. Average mass loss of *A. sachalinensis* specimens. (Test fungus : *F. palustris*)

Note) 1): See Table 1. for P/F, P, F and C;
2): Bars represent the standard error.

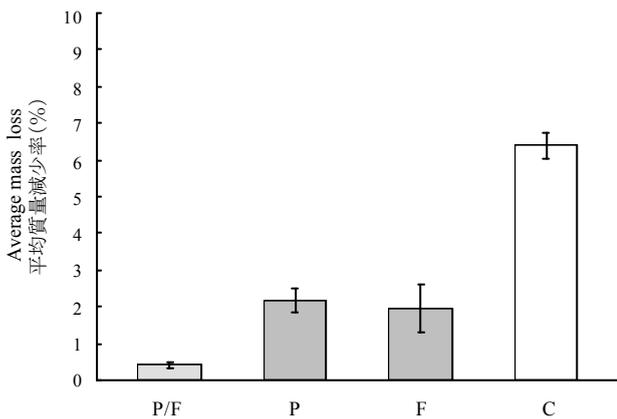


第3図 ブナ試験体の平均質量減少率 (供試菌: カワラタケ)

注) 第1図参照

Fig. 3. Average mass loss of *F. crenata* specimens. (Test fungus : *T. versicolor*)

Note) See Fig. 1.



第2図 トドマツ試験体の平均質量減少率 (供試菌: カワラタケ)

注) 第1図参照

Fig. 2. Average mass loss of *A. sachalinensis* specimens. (Test fungus : *T. versicolor*)

Note) See Fig. 1.

減少率が22%, F処理の平均質量減少率が2.0%と2つの処理方法間で大きな差は観察されず, 平均質量減少率に有意差($P < 0.05$)は認められなかった。一般にカワラタケを含めた白色腐朽菌は主として広葉樹材を腐朽させる傾向があるとされ¹³⁾, 本研究においてもオオウズラタケと比較して全体的に針葉樹であるトドマツの平均質量減少率は低くなっていた。トドマツP処理試験体の質量減少率が抑えられているのは, 溶脱操作後に残存した薬剤でカワラタケに対して, 比較的高い防腐効果を維持できたためと考えられる。

第3図にブナの各試験体について, カワラタケを供試菌として試験を行った場合の平均質量減少率を示す。無処理条件では平均質量減少率が22.9%であるのに対し, P処理では12.0%, F処理では11.0%と, 無処理のおよそ1/2の数値が得られた。ブナ試験体においてもトドマツ同様, P/F処理条件が9.7%と最も低い値を示す結果となった。しかし, トドマツの試験結果と比較した場合, P/F処理においても, 無処理を除く他の2条件に比べ質量減少率に顕著な差が現れなかった。これは耐候操作後, 塗膜の劣化が広範に発生したことにより, 塗膜による耐朽性向上効果が十分発揮されず, 含浸型木材保護塗料に含まれる防腐剤の溶脱, 木材への水分と木材腐朽菌の接触・侵入が起り, 腐朽が進行したためと考えられる。

以上の結果より, 本研究で検討を行った含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用した処理法により, トドマツ材に対して高い耐朽性能を付与できることが明らかとなった。

5. まとめ

トドマツ未利用材をエクステリアとして使用するにあたり, 比較的簡易な処理法により高い耐朽性能を付与することを目的として, 含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用した表面処理方法について検討を行った。その結果, 以下の知見が得られた。

- 1) 耐候操作および抗菌操作後に行った表面観察の結果, 含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用して表面処理を行ったトドマツ試験体については, 塗膜に大きな劣化は認められなかった。一方同処理を施したブナ試験体では広範囲にわたる割れ・はがれの発生が確認された。
- 2) 処理条件ごとに試験体の平均質量減少率は大きく異なっていたが, 含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料による併用処理を行ったトドマツ試験体において顕著な平均質量減少率の低下が認められた。

6. おわりに

近年, 環境に対する負荷の少ない耐候・耐朽性向上技術が求められているため, 製品開発にあたっては, 薬剤の使用量および木材からの溶脱を最小限に抑えなければならない。紫外線や降雨などの気象劣化因子に対し塗膜の耐候性が要求される範囲内において十分に保証されるならば, 本研究で検討を行った含浸型木材保護塗料と造膜型表面保護塗料を併用する表面処理法は上記の要求を満たす上で有効な選択肢の一つとなりうる。今後, 北海道産トドマツ小径間伐材や未利用プレカット端材を用いて製造したエクステリア製品に本処理方法を適用し, 実際の屋外環境での耐候・耐朽性試験を実施することが望まれる。

文 献

- 1) “北海道の林産業 平成12年度版”, 北海道木材林産協同組合連合会, 167-170(2001).
- 2) 信田聡: 木材保存, **21**, 2-9(1995).
- 3) 小林章: 木材保存, **26**, 168-176(2000).
- 4) “木材保存学入門 改訂版”, (社)日本木材保存協会, 187-188(2001).
- 5) 片岡厚ほか: 塗装工学, **37**, 305-315(2002).
- 6) 田村彰: 木材テクニカルシリーズ, **86**, 12-29(1996).
- 7) 井上正良: 色材協会誌, **32**, 32-35(1959).
- 8) 中戸莞二ほか: 木材学会誌, **9**, 217-224(1963).
- 9) 大越誠: 塗装工学, **31**, 111-118(1996).
- 10) 佐藤弘三: 塗装工学, **32**, 67-77(1997).
- 11) 川村二郎: 塗装工学, **30**, 69-76(1995).
- 12) 寺沢真ほか: “木材の人工乾燥”, (社)日本木材加工技術協会, 16-20(1976).
- 13) “木材保存学入門 改訂版”, (社)日本木材保存協会, 66-67(2001).

—性能部 耐朽性能科—

—※1:性能部 性能開発科—

—※2:株式会社 ゼストシステム—

(原稿受理: 03.7.17)