

建築彩色に発生する糸状菌の防除法

新 井 英 夫

1. はじめに

わが国の文化財建造物で彩色をした建築物は、約300棟存在し、指定建造物の約1割を占めている。たとえば、大崎八幡神社（宮城県仙台市）、日光東照宮・二荒山神社・輪王寺（栃木県日光市山内）、久能山東照宮（静岡県静岡市）、富士山本宮浅間神社（静岡県富士宮市）、日吉大社末社東照宮（滋賀県大津市）、東照宮（和歌山県和歌山市）、平等院鳳凰堂（京都府宇治市）、青井阿蘇神社（熊本県人吉市）などがあげられる。

彩色建造物には、彩色に生ずる特異的な劣化現象が存在し、未だ適切な劣化の防除法がなく、劣化と修復の繰返しを余儀なくされている。その1つに修復後建築彩色表面に糸状菌が発生し、上塗り顔料の剝落する現象がある。この原因と防除に関し、日光社寺文化財建造物において検討してきたが、昭和53年6月に実施した実地試験によって、建築彩色に発生する糸状菌の防除に有効な方法が実証されたので、ここに報告し今後の彩色建造物修復時の対策に資するものである。

2. 建築彩色に発生する糸状菌の調査

2.1. 日光二社一寺の建築彩色

日光社寺文化財建造物に用いられている彩色工法は、置上げ彩色、平彩色、生彩色、桐油彩色（密陀絵彩色）、胡粉塗り（無地彩色）の5つの工法に分類される。このうち桐油彩色は、他の彩色と異なり下地の上に桐油と荏油に顔料を混合して筆で画く独特の彩色方法である。これについては別に報告する予定である。ここでは置上げ彩色、平彩色、生彩色、胡粉塗りに発生する糸状菌とその防除法について報告する。

それぞれの彩色工法の詳細は、修理報告書⁽¹⁾にゆずり、彩色に用いられている原材料を判断する資料として、平彩色工法をここに記述した。

工 程	材 料 お よ び 作 業 内 容
木 地 洗	旧彩色塗装を洗い落とす。
埋 木	素地の欠けた部分を麦漆で埋木する。
刻 苧 彫	節や乾割れの部分を幅 1 cm、深さ 0.5 cm 位彫る。
木 固	素地に直接生漆を浸透させて補強する。
刻 苧 銅	刻苧彫の部分に麻布を張る。
刻 苧 揃	刻苧の肉高部分を前鉋で削除。
引 込 地	刻苧のやせた部分に切粉付けをする。
引 込 払	金鋼砥を当て、場合により地付け、同空研ぎする。
切 粉 付	表地全面に地の粉：砥の粉 = 1 : 1 を漆と混合して塗布。
切 粉 空 払	へらむらなどの地肌を平にする。
下 塗 丹 具	鉛丹：胡粉 = 1 : 1 を10%膠水に混合し、塗装材全面に2回塗布する。
下 塗 胡 粉	7つ番胡粉を10%膠水に混合して2回塗布する。
濃 色 岩 絵 具 下	仕上げ絵具と同色の下塗絵具を10%膠に混合して1回塗布する。

仕上絵具	濃色岩絵具（群青，緑青，朱など）を，10% 膠水に混合して2，3回塗り重ねる。
剝落防止	剝落防止にシリコン液を吹き付ける。

2.2. 実態調査

日光東照宮の経蔵は，昭和47年に修復された。彩色は，置上げ彩色が主体をなしているが，平彩色，彫刻平彩色，桐油彩色の工法も随所に用いられている。経蔵の西側は，修復直後から糸状菌の発生が著しく，平彩色の緑青，朱土の部位に黒色の糸状菌が一面に繁殖し（図-1），彫刻平彩色で胡粉の白色兎が糸状菌で灰黒色のまだらになっていた（図-2）。上神庫の北側

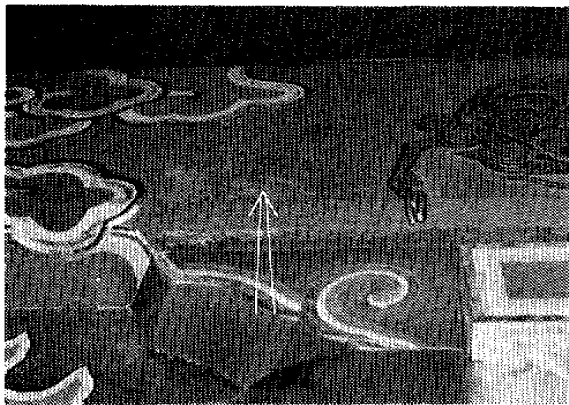


図-1 緑青部分に発生した糸状菌（経蔵）
Fig. 1 Fungi found on verdigris painting (the Kyō-zō)

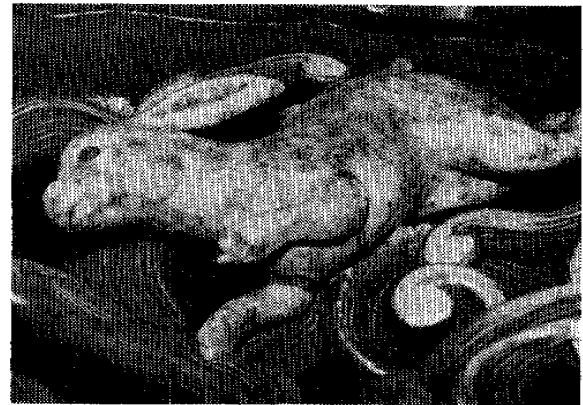


図-2 胡粉塗りの白い兎に糸状菌着生（経蔵）
Fig. 2 Fungi on a white rabbit painted by chalk white (the Kyō-zō)

外壁小屋梁上の置上げ彩色で朱土，胡粉の部位に糸状菌が発生していた。神厩の南側外壁鴨居上の平彩色緑青部位は，かつて経蔵（図-1）と同様な黒色の糸状菌が繁殖した。現在，この部位は上塗りの緑青が剝落し，周囲より淡色を呈していた（図-3）。昭和53年12月末に修復が完成した日光五重塔の平彩色には，修復中から緑青，黄土，朱土などに糸状菌が発生した。

2.3. 糸状菌の種類

彩色に発生する糸状菌を分離すると，次の種類が認められた。

Cladosporium herbarum

Aspergillus sp.

Penicillium sp.

この中で最も高い頻度で分離されるのが *Cladosporium herbarum* である。たとえば，経蔵の緑青に繁殖していた黒色の糸状菌，灰黒色の兎，五重塔の第3層などで分離した。彩色表面に白い菌糸の繁殖している部分からは，*Aspergillus* sp., *Penicillium* sp. が分離された。

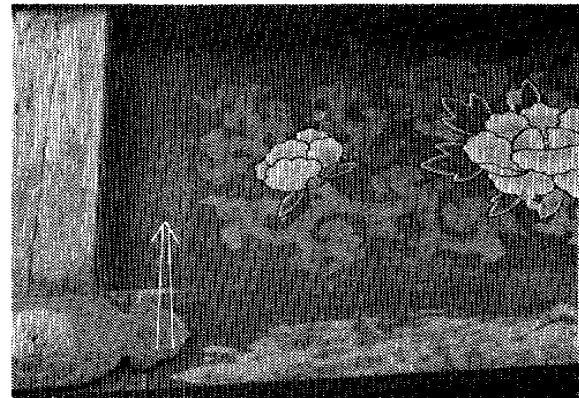


図-3 剝落した緑青部分（神厩）
Fig. 3 Deteriorated parts painted by verdigris (the Sacred Stable)

3. 防除法の検討

彩色に用いた顔料と糸状菌の発生との間に関係がないかという疑問が生ずる。実態調査によれば、緑青、朱、胡粉によく糸状菌の繁殖するのが見受けられる。その他、群青、黄土、朱土、金箔などにも発生していて、顔料による特異性は見出せない。また、糸状菌の発生する緑青や朱の成分は、前者が塩基性炭酸銅 ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$) であり、後者が硫化水銀 (HgS) である。ここに含まれている水銀や銅の重金属イオンは、生物細胞に強い毒性を示すので、昇汞水やボルドー液のような殺菌用の水溶液として利用される。この重金属を含む彩色部位に糸状菌が繁殖するのは、顔料が安定な化合物として存在していて毒性を示さないことを表わし、糸状菌の養分にもなっていない。むしろ顔料以外に原因を求めた方がよい。

平彩色工法 (2.1) から、彩色に用いられている原料を調べると、顔料の接着に 10% 前後の膠水を用い、8回またはそれ以上塗布していることがわかる。膠は蛋白質の 1 種で、ゼラチンとして食用、止血剤、写真感光膜、細菌の培養基に用いられているので、糸状菌の栄養源にもなり得る。したがって、建築彩色が温暖多湿な環境に置かれれば、用いた顔料の種類に関係なく糸状菌が繁殖する筈である。

建築彩色に糸状菌の発生する原因が、上述の理由によるならば、防除方法は必然的に次の 2 つの方法をとらざるを得ない。すなわち、

- (1) 彩色表面に薬剤を吹き付けて、表面に防黴剤を付着させる。
- (2) 膠に適した薬剤を混入し、膠に防黴効力を持たせる。

江本⁽²⁾は、0.5% dehydroacetic acid のアルコール溶液を吹き付けると有効であると報告している。筆者は、①低毒性薬剤、②材質とくに膠や顔料に影響がない、③防黴効力が優れている、④残効性が 2~3 年期待できる薬剤を検索することにした。

4. 彩色表面処理薬剤の検討

日光山内の温湿度の年間観測記録によれば、気温は 6 月が 16~17°C、8 月が 21~23°C、10 月が 11~15°C で、湿度は 5 月が 65~70% RH、6~7 月が 76~80% RH、8~10 月が 80~85% RH、11 月が 75~80%、12~1 月が 67~73% RH、2~4 月が 60~66% RH という値を示している。梅雨期など多湿な時期には、彩色表面に結露を生じ、水滴が表面を流れ落ちるのが観察される。したがって薬剤の残効性を期待するには水に難溶であることが望ましい。そこで、筆者が検討中の低毒性防黴剤の中から彩色表面に吹付け処理する薬剤として、Thiabendazole (TBZ と略記す)、Thymol, o-Phenylphenol (OPP と略記す) の 3 種の薬剤の有効濃度と材質への影響を検討した。

4.1. 防黴有効濃度

実験方法は、直径 8 mm のパルプディスクに、各種濃度に調製した薬剤溶液の 0.05 ml/cm² を滴下して風乾し、馬鈴しょ平板寒天培地上に各濃度の 3 ケのパルプディスクを置いた。これに *Aspergillus niger* IAM 3001 の分生子けん濁液 (10⁵/ml) の 0.5 ml を接種して 25°C で培養した。7, 15, 30 日目に観察し、供試菌がパルプディスク上に生育しない濃度を防黴有効濃度とした。薬剤の濃度は、TBZ のときは 0.001, 0.01, 0.1, 0.5%, Thymol のときは 1, 2, 3, 5, 10%, OPP のときは 0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 1.0% のエチルアルコール溶液を調製して実験した。

その結果、TBZ は 0.1% 溶液以上で防黴効果を示し、0.5% 溶液は供試菌の生育を阻止し、しかもその効果が持続した。Thymol は 1~2% 溶液では防黴効果を示さず、3% 溶液以上が

必要である。明らかな阻止効果は5%溶液で 0.05 ml/cm^2 以上の処理が必要である。OPPは0.75%溶液以上で処理した時防黴効果を示したが、効力は持続しなかった。

4.2. 平彩色試料による防黴有効濃度の検討

方法は、ヒノキ材 ($2.5 \times 2.5 \times 1.5 \text{ cm}$) に緑青と黄土の平彩色をした試料表面に供試薬剤の溶液を 0.016 ml/cm^2 の割合に吹き付けて乾燥し、各試料を馬鈴しょ平板寒天培地上に置く。つぎに、*Aspergillus niger* IAM 3001, *Penicillium citrinum* IAM 7316, *Cladosporium herbarum* IAM 5059, *Trichoderma viride* IAM 5061 の4種の糸状菌分生子の混合液 0.5 ml を散布した。25°Cで培養し、7, 15, 30日目に観察し、試料表面に糸状菌の繁殖した面積を5段階(生育しないものを-, 対照を卍とした)に表示して防黴有効濃度を決定した。薬剤の濃度は、TBZを0.1と0.5%, Thymolを2.0%, OPPを0.5%のエチルアルコール溶液について実験した。

結果を表-1に、また黄土の平彩色試料表面の糸状菌の繁殖状態を図-4に示した。これより、TBZ 0.1 または 0.5% エチルアルコール溶液を 0.016 ml/cm^2 の割合で彩色表面に吹き付ければ、防黴効果を示すことが判明した。この結果に基づいて、自然環境下にある建造物に実施するときは、作業中の損失や風雨による損失と、薬剤の析出を念頭に置いて、TBZ 0.5% エチルアルコール溶液を $50 \sim 160 \text{ ml/m}^2$ の割合で吹き付け処理するのが望ましい。

表-1 平彩色試料による防黴効果試験

試料	薬剤 Conc.	TBZ		Thymol	OPP	対照
		0.1%	0.5%	2.0%	0.5%	
黄土		±	-	卍	卍	卍
緑青		-	-	+	+	+

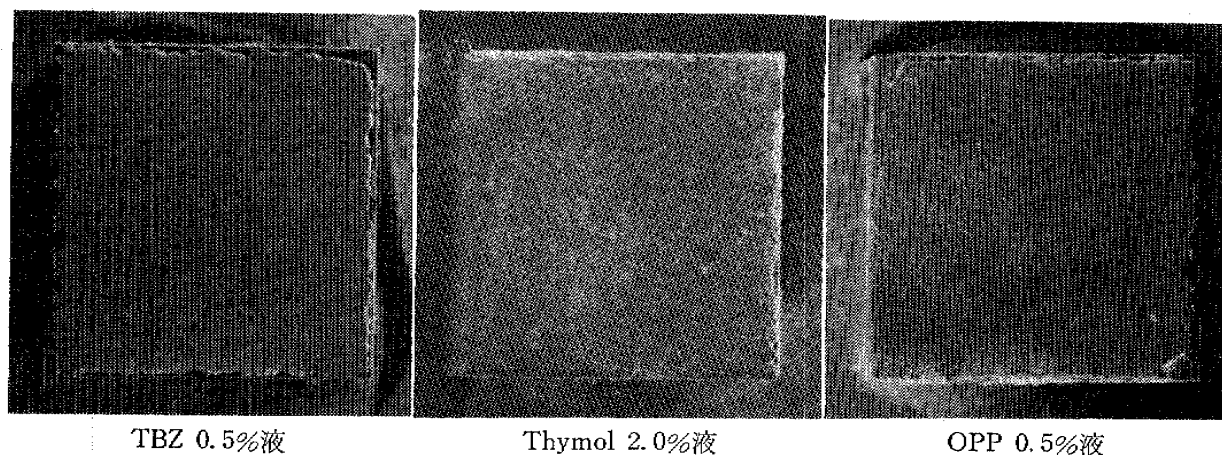


図-4 黄土の手板による防黴効力試験
Fig. 4 Fungicidal effect on ocher samples

4.3. 薬剤の材質への影響

3種の防黴剤 TBZ, Thymol, OPP の材質への影響は、漆下地、彩色下地を施したヒノキ材に、群青、緑青、黄土、朱、弁柄で彩色した手板で実験した。TBZは0.5%, Thymolは5.0%, OPPは1.0%のエチルアルコール溶液を 50 ml/m^2 の割合で彩色手板に吹き付けた。この手板は、75% RH のデシケーター中に納め、20°Cに6ヶ月間保って顔料への影響を調べた。各顔

料の主波長で純度と明度を測定しておき、薬剤処理して一定条件に保った後、再び主波長で各顔料の手板の純度と明度を測定してその間の増減から CIE の色度表を作成し表-2 に示した。

表-2 顔料の防黴剤による CIE 色度表*

顔料	防黴剤	主波長		純度		明度	
		処理前	処理後	処理前	処理後	処理前	処理後
緑青	TBZ	500 ^{mμ}	498 ^{mμ}	16.0 [%]	20.0 [%]	9.2	9.0
	Thymol	"	"	"	"	"	"
	OPP	"	"	"	21.0	"	"
朱	TBZ	626	626	63.0	56.5	19.3	17.5
	Thymol	"	"	"	60.0	"	15.0
	OPP	"	"	62.0	"	"	"
弁柄	TBZ	611	611	57.0	45.0	13.0	13.0
	Thymol	"	"	"	52.0	"	14.9
	OPP	"	"	"	50.0	"	13.5
黄土	TBZ	593	593	53.0	46.0	23.5	22.0
	Thymol	"	"	"	51.0	"	"
	OPP	"	"	"	48.0	"	"
群青	TBZ	468	468	63.0	59.0	6.0	6.5
	Thymol	"	"	"	60.0	"	6.0
	OPP	"	466	"	64.0	"	6.5

* CIE 色度表: CIE (国際照明委員会) が定めた表色系

その結果、顔料の色合に変化はないが、明度が減少した。これは、顔料に変化はないが、明るさが増えたことを示している。この原因は、吹き付けた薬剤の白色粉末が顔料表面に析出したためである。析出の程度は、薬剤の結晶の性質、量と共に、顔料表面の凹凸または顔料の粒子の大きさによって左右される。析出する割合は、TBZ > Thymol = OPP であった。TBZ 0.1%, Thymol 2.0%, OPP 0.5% のエチルアルコール溶液を 50 ml/m² で吹き付けたとき、各薬剤の析出が色度表に影響しない限界であった。

結晶の析出は、TBZ が最も顕著であるが、TBZ の防黴剤としてのすぐれた性質、すなわち、水に不溶、融点 300°C、防黴効力の持続性、紫外線に安定であることなどから、多湿な自然環境で有効な薬剤である。しかも、本実験により明度の変化以外に供試した顔料に化学的变化を与えない薬剤であるから、結晶の析出に留意すれば建築彩色の防黴に吹き付け処理する薬剤としてきわめて有効であると判断した。

なお、サンシャインウエザーメーターによる耐候試験も実施したが、対照と比較して供試した顔料に変化は認められなかった。

5. 膠に混合する薬剤の検討

膠は蛋白質で、細菌や糸状菌の培地となり、夏季に膠の水溶液が腐敗することはよく知られているところである。従来、画家は膠の防腐にフェノールを用いてきたようである。しかし、フェノールは毒性が高く、また細菌に対する効力はあるが防黴効力はやや劣ること、水への溶解度は 8.5 g/100 g H₂O であることなどから、さらに低毒性の防黴剤から選択する必要がある。そこで、p-chloro-m-xylene (PCMX と略す) と methyl-oxyethyl-dodecyloxyethyl-

benzyl-ammonium chloride (4級アンモニウム塩と略す)の2種の薬剤について検討した。

5.1. 膠が防黴効力を示す濃度

膠は「三千本」を使用し、この10%膠水を調製した。これに市販の PCMX 20% 溶液 (商品名ホクバリソ E400A) の PCMX が膠の乾燥重量に対して 0.1, 0.5, 1.0% となるように加えた。一方、4級アンモニウム塩 (25% 原液) の原液も膠の乾燥重量に対して 0.1, 0.5, 1.0% 加えた。それぞれの濃度の防黴剤を混合した10%膠水を、パルプディスクに含浸させて風乾し、(4.1)と同様にして膠の防黴に有効な濃度を決定した。

結果は、PCMX が 0.1% の膠は、供試菌がパルプディスク表面に繁殖した。これが、0.5% になると表面に繁殖せず、1.0% のときは、阻止円を形成した。したがって、PCMX は 0.5% 以上膠に加える必要があり、実地に使用するときには可能な限り 1.0% 加えることが望ましい。4級アンモニウム塩は、0.1, 0.5% のときパルプディスク表面に供試菌が繁殖、1.0% で表面の繁殖を阻止した。

5.2. 平彩色試料による防黴有効濃度の検討

スギ板を用いて緑青の平彩色試料を作成した。すなわちこの平彩色は5つに区分し、PCMX を 0.1, 0.5, 1.0% 混合したそれぞれの膠で平彩色した3つの区と、2つの区は薬剤の入らない膠で平彩色し、その1区は対照とし、他の1区は TBZ 0.5% エチルアルコール溶液を 50 ml/m² の割合で吹き付けた。これを日光五重塔の第2層西側に置いた。

6ヶ月後に観察すると、対照と PCMX 0.1% 混合区は糸状菌が発生していたが、PCMX 0.5, 1.0% 混合区および TBZ 0.5% エチルアルコール溶液を吹き付け処理した試験区には糸状菌が認められなかった。

5.3. 薬剤の顔料への影響

雁皮紙に15種の顔料 (緑青(6), 緑青(9), 白緑, 群青(6), 群青(9), 白群, 弁柄, 岱赭, 赤紫, 古代紫, 丹, 朱, 密陀僧, 鉛白, 本洋紅) を塗布した試験片を用い、これに PCMX および 4級アンモニウム塩をそれぞれ1.0%混合した10%膠水を塗布し、室温に1年間保って顔料に対する薬剤の影響を調べた。その結果、PCMX および 4級アンモニウム塩のいずれも供試した顔料に変化を与えなかった。

6. 実地試験

日光五重塔は、昭和50年から修復が行われ、昭和53年12月に完成した。この間、第3層の平彩色は昭和51年5~12月に、第2層は昭和52年5~12月に、初層は昭和53年6~12月にそれぞれ施工された。ここでは、昭和53年4月に第2, 3層の西側平彩色に糸状菌が発生し、初層の彩色中 (昭和53年10月) 紅の部分に糸状菌が発生した。この糸状菌の防除に、TBZ 0.5% エチルアルコール溶液を 50~100 ml/m² の割合で吹き付け処理した。その後糸状菌の繁殖が拡大した形跡はなく、防黴効果が認められた。

日光二荒山神社大国殿の修復は、昭和53年12月に完成した。これに先だつ6ヶ月前に、背面飛檐裏板を胡粉塗りすることになった。彩色技法の種類に関係なく、胡粉塗り部位には、完成直後から糸状菌の発生することが知られている。そこで、胡粉の膠水に PCMX を 1.0% 混合して実地試験をすることにした。

最も糸状菌の発生しやすい大国殿西側の背面飛檐裏板で、南から9番目の板だけ従来法による胡粉塗りをして対照とし、その他の板はすべて PCMX 1.0% 入り膠水で胡粉塗りを実施した (昭和53年6月)。8月末までは両者の間に差が認められなかったが、10~11月にかけて対照とした板に灰黒色の糸状菌 *Cladosporium herbarum* が着生し、12月にはほぼ全面に繁殖し

た(図-5)。一方、他の80枚の板は、2～3の例外を除いて糸状菌の発生は認められなかった。したがって、PCMIXを1.0%混合した膠膜は、多湿な日光山内の自然環境にあっても、防黴効果を示すことを実証した。なお、この膠塗膜の防黴効力がどの程度持続するかが今後の問題である。

7. おわりに

多湿な環境にある建築彩色に発生する糸状菌の防除法について述べた。この方法は、建築彩色にとどまらず、多湿な環境にある膠を用いた文化財または美術品の糸状菌防除に利用できる。筆者は、バンコックのエメラルド寺院回廊の壁画が、糸状菌の繁殖で著しい損傷を受け、その修復をしていたのが忘れられない⁽³⁾。エメラルド寺院でもここに述べた方法を用いて壁画の糸状菌による被害が防除されることを期待したい。

本文中で述べた Thiabendazole の材質への影響は、見城敏子主任研究官による実験結果であり、日光山内の温湿度の年間観測記録は、三浦定俊技官が測定したものである。引用させて頂いたことを明記し感謝いたします。薬剤については、北興化学工業 K. K. 開発研究所 荒川正澄氏に多大の御協力を頂きました。深甚の謝意を表します。

文 献

- (1) 日光社寺文化財保存会：国宝東照宮陽明門・同左右袖扉修理工事報告書，pp. 61～72（昭和49年3月発行）
- (2) 江本義教：日光東照宮その他の建造物の防黴について，古文化財の科学，No. 16, 1～10（1959）
- (3) 新井英夫：文化財の保存科学と生物(2)，化学と生物，15, 379～403（1977）

Method for Preventing Fungous Growth on the Decorative Painting of Wooden Historical Buildings

Hideo ARAI

In Japan there are about 300 buildings, listed as Important Cultural Properties, which are decorated with architectural painting. Together they account for about 10% of all of Japan's Important Cultural Buildings, and one of the most well-known examples of this kind of building is the Tōshōgu in Nikko.

The decorative painting on these buildings suffers from various special kinds of deterioration, one of which consists of a surface fungous growth which causes the top layer of pigment to flake off (Fig. 3). The author investigated the causes of this growth

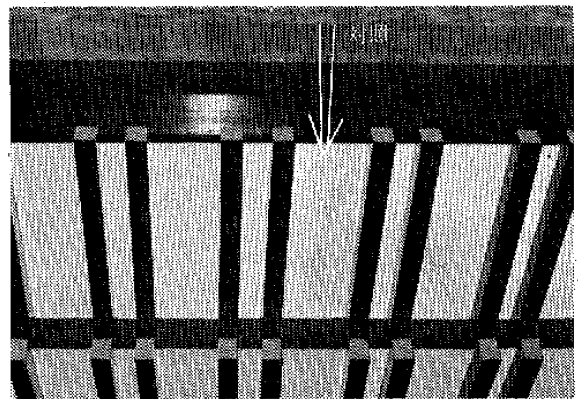


図-5 背面飛檐裏板の胡粉塗装（二荒山神社大
国殿）

対 照：10%膠水+胡粉，糸状菌繁殖
その他：10%膠水+胡粉+PCMIX 1.0%

Fig. 5 Chalk white painting on the underside boards of the turned-up eaves. (the Daikokuden)

and tested different methods for preventing it.

(1) From a close survey of restored cultural properties, fungous growth was found on every decorative pigment: verdigris (Fig. 1), vermilion, chalk white (Fig. 2), ocher, ultramarine and gold leaf. By classifying the fungi, it was found that almost all the grayish-black growth was caused by *Cladosporium herbarum*. Whitish fungous colonies were made up *Aspergillus* sp. and *Penicillium* sp.

(2) The author examined the materials and procedure used in applying the decorative painting to see if there was any connection with the fungous growth. None was found in the kinds of pigment used. Instead, it was determined that the animal glue used to affix the pigments provided a medium for the fungi. The author then selected several low toxic fungicides now being studied, and investigated the possibility of either spraying some of them on the surface of the decorative paint, or mixing some of them with the glue.

(3) For spray treatment, Thiabendazole, Thymol and o-Phenylphenol were tested on test samples to discover the right fungicidal concentrations and to check for any possible side effects on the pigments (Table 2). The results showed that a 0.5% ethanol solution of Thiabendazole, sprayed with a concentration of 50 ml/m², prevented fungous growth (Fig. 4, Table 1).

(4) For tests involving the mixture of fungicides with glue, the author used p-Chloro-m-xylene, hereafter referred to as PCMX (Japanese commercial name: Hokubarin E400A), and methyl-oxyethyl-dodecyloxyethyl-benzyl-ammonium chloride (quaternary ammonium salt). Effective fungicide concentrations and possible side effects to the pigment materials were investigated using test samples. In this case, it was found that a glue and PCMX mixture, with a 0.5~1.0% ratio of PCMX to the dry weight of the glue, was extremely effective in preventing fungous growth.

(5) When fungous growth was found on the 1st, 2nd and 3rd floor, west side, decorative painting of the Nikko 5 Story Pagoda, the restoration of which had just been completed at the end of December 1978, a 0.5% ethanol solution of Thiabendazole was sprayed on with a concentration of 50 ml/m². As a result of this treatment, fungous growth not only ceased to spread but was also effectively removed.

(6) The Daikoku-den, a building belonging to the Futarasan Shrine, was also restored by the end of December 1978. Six months before this work was completed, chalk white pigment was applied to the underside boards of the turned-up eaves. Since fungous growth often appears on this chalk white area immediately after painting, it was therefore decided to try an on-site experiment with a 1.0% mixture of PCMX and pigment glue. As a result, 4 to 6 months later, the boards painted with a chalk white pigment which didn't contain PCMX were completely covered with a growth of *Cladosporium herbarum*, while the boards painted with a PCMX and glue mixture showed no signs of fungi (Fig. 5). This on-site experiment thus proves the ability of a PCMX and glue mixture to prevent fungous growth in a natural environment.