

〈資 料〉

柿渋による木材への金属固着性の向上と防腐効力

奥田晴啓

柿渋と金属イオンとのキレート能を利用した、木材への金属固着性および防腐効力を検討した。また、柿渋に浸せき後、長期間の養生あるいは紫外線照射を行った場合の防腐効力を検討し、以下の結論が得られた。

- 1) 木材に対する金属固着性は、鉄>銅>亜鉛>ニッケルの順で優れていたが、金属塩の処理濃度が高まるにつれて、金属残存率は低下した。柿渋に含まれるタンニンと金属イオンから形成されるキレートが、木材への金属固着性に及ぼす効果は、金属塩の種類によって異なった。また、柿渋と硫酸銅の2段処理は、木材への金属固着性の向上に効果が認められ、他の金属塩との2段処理の場合よりも有効であった。
- 2) 柿渋の1段処理は、オオズラタケ腐朽に対して防腐効力を有するが、雨水等の溶脱作用により効果は低下した。カワラタケ腐朽に対する柿渋の防腐効果は、ほとんど無かった。紫外線の影響により、両腐朽に対する柿渋の防腐効力は低下した。また、柿渋に浸せき後、室内等で十分養生することにより、防腐効力は僅かながら向上した。
- 3) 柿渋と硫酸銅あるいは硫酸ニッケルとの2段処理は、オオズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽に対して防腐効力を有し、柿渋の1段処理よりも効果に優れていた。柿渋と硫酸ニッケルの2段処理では、溶脱+揮散の耐候操作により両腐朽に対する防腐効果がほとんど失われた。それに対して、柿渋と硫酸銅の2段処理では、柿渋および硫酸銅の1段処理よりも防腐効力に優れ、カワラタケ腐朽よりもオオズラタケ腐朽に対する方が有効に作用した。
- 4) 柿渋と金属塩による金属固着性ならびに防腐効力との間には相関があり、この効果は金属の種類によって異なることが明らかとなった。

1. はじめに

効果的な木材防腐効力を有するCCAやクレオソートは、有害物質を含むことから使用が制限され、近年、安全性の高い薬剤の開発が望まれている。渋柿から生産される柿渋は、古くから清酒、漆器、漁網、和紙などの製造過程に使われ、我々の生活に重要な役割を果たしてきた¹⁾。清酒づくりには清澄剤（おり下げ剤）として、現在でも柿渋が使用されている。漁網にはナイロン網が登場するまで綿糸や麻が用いられ、網の腐食を防止する意味で、柿渋による網染めが行われてきた。また、古来から日常生活と密接な関係にあった和紙には、防水、防腐効果と共に強靱さを増すため、柿渋が使用されてきた。これらは、柿渋に含まれるタンニンと総称されるポリフェノール成分が、酸または酵素の存在下において分子間に縮合が生じ、不溶性の強靱な被膜を形成する性質、あるいはタンパク質を吸着する性質²⁾などを利用したものである。この他、タンニンには、金属吸着能やVOC

吸着能³⁾などの性質が確認されている。さらに柿渋は、オオズラタケ（褐色腐朽菌）やカワラタケ（白色腐朽菌）などの木材腐朽菌に対して、僅かながら抗菌性を有するが⁴⁾、雨水などの溶脱作用により木材防腐効果は失われてしまう⁵⁾。その一方で、タンニンの金属吸着能を利用することにより防腐効果が向上することを、山口ら⁶⁾が明らかにしている。しかし、柿渋による木材への金属固着性と防腐効力の関連性については、まだ検討がなされていない。

そこで、本研究では、天然物である柿渋と、比較的毒性が低い金属イオンとのキレート能を利用し、木材への金属固着性ならびに防腐効力を検討した。また、柿渋に木材を浸せき後、室内での長期間の養生、および紫外線照射した場合の防腐効果についても検討した。

2. 材料および方法

2.1 材料

2.1.1 供試薬剤

柿渋には、天王柿の未熟柿の搾汁を2年間発酵熟成した古渋（タンニンの含有量は5%：Folin-Denis法）を用いた。また、柿渋に含まれるタンニンとのキレート生成には、硫酸銅（ CuSO_4 ）、硫酸鉄（ FeSO_4 ）、硫酸ニッケル（ NiSO_4 ）、および硫酸亜鉛（ ZnSO_4 ）の金属塩を用いた。なお、柿渋の提供ならびに分析は岩本亀太郎商店に依頼した。

2.1.2 供試菌

供試菌は、木材腐朽菌であるオオウズラタケ（*Fomitopsis palustris* (Berk. et Curt.) Gilbn. & Ryv., FFPRI 0507) およびカワラタケ（*Trametes versicolor* (L.: Fr.) Pilát FFPRI 1030) の2種を使用した。

2.2 方法

2.2.1 金属固着性試験

厚さ（接線方向）5mm、幅（放射方向）20mm、長さ（繊維方向）40mmに柾目取りしたスギ辺材の木口面を常温硬化型のエポキシ樹脂でシールした試験体を、柿渋原液に浸せき（1段処理）し、吸収量が $110 \pm 10 \text{g/m}^2$ になるように調製後、室内で7日間風乾した。続いて、試験体を硫酸銅、硫酸鉄、硫酸ニッケル、および硫酸亜鉛の0.01、0.025、0.05、0.1mol/l水溶液に浸せき（2段処理）し、それぞれの溶液の吸収量が $110 \pm 10 \text{g/m}^2$ となるように調製した。また、上記金属塩に浸せき（1段処理）後、柿渋に浸せき（2段処理）する逆の処理方法も同様の手順で行った。なお、上記金属塩の水溶液による1段処理を対照区とした。これら処理試験体を7日間風乾後、 $25 \pm 3^\circ\text{C}$ の静水中に5時間浸せきする溶脱操作と、 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ の循環式乾燥器に19時間置く揮散操作を1サイクルとして、交互に10回繰り返す耐候操作を行った。耐候操作前後にエネルギー分散型蛍光X線分析装置（リガク製RIX2000）を用いて、試験体の同一部分で $\text{K}\alpha$ 線のX線強度を測定し、その前後のX線強度比（耐候操作後÷耐候操作前×100）から金属の残存率を求めた。測定条件は電圧50mV、電流50mA、照射径を直径10mmとし、繰り返し数は6回とした。

2.2.2 防腐効力試験

処理試験体の耐朽性は、(社)日本木材保存協会規格第1号の表面処理用木材防腐剤の室内防腐効力試験方法（JWPS-FW-S.1）に準拠して評価し、試験体には、2.2.1と同様に調製したスギおよびブナ辺材を用いた。処理条件は、以下の3条件を設定した。なお、1回当たりの薬剤の吸収量は $110 \pm 10 \text{g/m}^2$ となるようにして、浸せき処理後の試験体は、処理ごとに室内で7日間風乾した。

条件1：柿渋の防腐効力

①柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理した。

条件2：紫外線処理および長期間の養生による防腐効力

①柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理後、フェドメータ（水銀灯方式100V-400W）により、柾目面の表裏に対して、それぞれ48時間ずつ紫外線を照射した。

②柿渋の原液に1段処理後、室内の南面窓際の直射日光が当たる所、および室内の暗所に21ヶ月（2001.9～2003.6）間放置した。

条件3：柿渋と金属塩の処理による防腐効力

①柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理後、硫酸銅、および硫酸ニッケルの0.1mol/l水溶液で2段処理した。

②硫酸銅および硫酸ニッケルの0.1mol/l水溶液に1段処理した。

条件1～3の処理試験体は、2.2.1と同様の耐候操作を行った。また、条件1①および条件2②の処理試験体は、 $40 \pm 2^\circ\text{C}$ の循環式乾燥器に2週間放置する揮散の耐候操作も行った。耐候操作後、オオウズラタケを培養した瓶にはスギ試験体を、カワラタケを培養した瓶にはブナ試験体を入れ、温度 27°C 、相対湿度80%の恒温恒湿器内において12週間の抗菌操作を行った。条件2②を除く、条件1～3の処理試験体は、耐候操作を行わない場合も検討した。抗菌操作後、試験体を取り出し、表面に付着した菌糸を取り除き、抗菌操作前後の重量減少率によって防腐効力を評価した。なお、無処理試験体を供試しなかった条件については、溶脱と揮散の耐候操作を施した無処理試験体（同時期に実施）を対照区とした。

2.2.3 防腐効力試験の統計処理

一元配置の分散分析ならびにTukeyの多重比較から各処理間の有意差を検定し、防腐効力を評価した。なお、この基準として、有意水準（ P ）は0.05とした。

3. 結果と考察

3.1 柿渋の金属固着性

硫酸銅、硫酸鉄、硫酸ニッケル、および硫酸亜鉛を用いて処理した試験体の金属残存率を図1～4に示す。木材への金属残存率は、鉄>銅>亜鉛>ニッケルの順で高く、金属塩の濃度が高くなるにつれて、金属残存率は低下した。図1より、耐候操作前のX線強度が0.5kcpsにおける2段処理（柿渋+硫酸銅）の銅残存率は、硫酸銅による1段処理の場合より約40%も向上した。図2～4より、硫酸鉄、硫酸ニッケル、および硫酸亜鉛を用いた2段処理（柿渋+金属塩）の金属残存率（0.5kcps）は、これらの1段処理の場合より約10～25%高かった。このことから、柿渋と金属塩との2段処理により、木材への

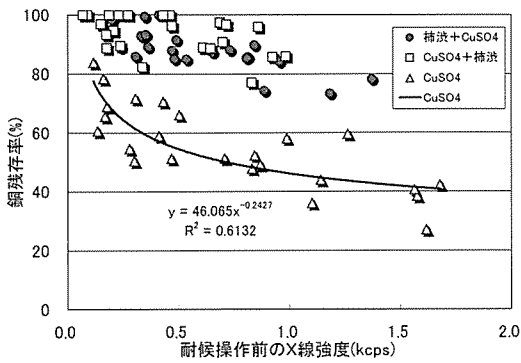


図1 耐候操作前のX線強度に対する銅固着性

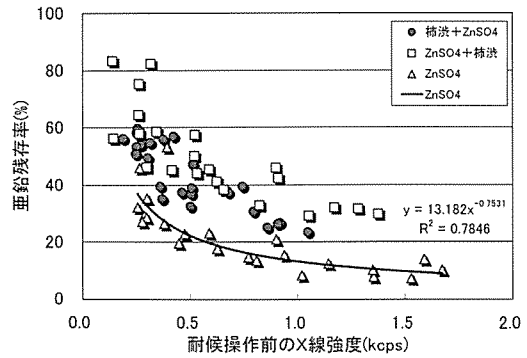


図4 耐候操作前のX線強度に対する亜鉛固着性

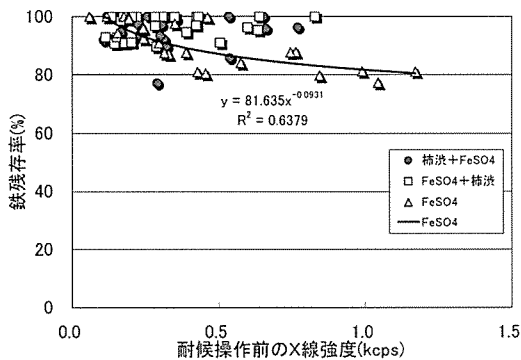


図2 耐候操作前のX線強度に対する鉄固着性

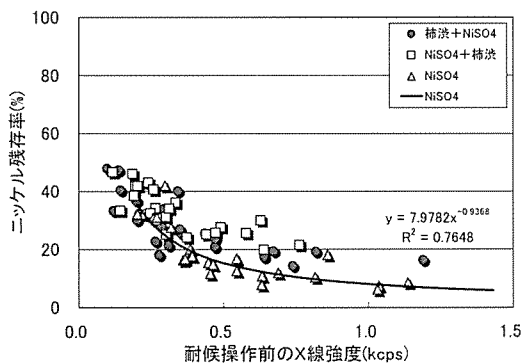


図3 耐候操作前のX線強度に対するニッケル固着性

金属固着性が向上することが示唆された。また、柿渋と硫酸銅による2段階処理は、他の2段階処理よりも、その効果に優れていることが確認された。このような傾向は、耐候操作前のX線強度が異なる場合、あるいは逆の2段階処理（金属塩+柿渋）の場合でも同様に認められた。なお、前処理として金属塩を、後処理として柿渋を使用した場合の方が、逆の2段階処理よりも金属残存率は高い傾向を示した。図2より、柿渋と硫酸鉄による2段階処理、および硫酸鉄による1段階処理の金属残存率は、いずれも約80%を越える高い値を示し、両者の差がほとんど無かった。この理由として、鉄イオンは木材の抽出成分に含

まれるフェノール類と容易にキレートを生じ⁷⁾、強固な結合をすることから、柿渋の使用の有無に関わらず、木材への固着性に優れていたと考えられる。

以上のことから、柿渋に含まれるタンニンと金属イオンから形成されるキレートは、木材への金属固着性に関与し、その効果は金属塩の種類によって異なると考えられる。また、柿渋と硫酸銅による2段階処理は、他の金属塩との2段階処理よりも、金属固着性の向上に効果があると考えられる。

3.2 防腐効力

3.2.1 柿渋の防腐効果

柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段階処理した場合のオオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽の結果を図5に示す。オオウズラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、原液使用時の重量減少率(7.0%)は、無処理の重量減少率(34.3%)よりも明らかに低かった。この場合(耐候操作なし)に、一元配置の分散分析を行った結果、処理間には差($P < 0.01$)があった。さらにTurtyの方法で多重比較をしたところ、原液と無処理の間で有意差($P < 0.01$)が認められたことから、柿渋原液はオオウズラタケ腐朽に対して、防腐効力があると考えられる。しかし、2倍または4倍希釈液と無処理の間では、有意差が認められなかった。揮散の耐候操作を行った場合では、原液の重量減少率(14.4%)は無処理(25.8%)よりも低かったが、原液と無処理の間に有意差は認められなかった。また、溶脱+揮散の耐候操作を行った場合では、処理間に差がなかったことから、溶脱作用により防腐効力はかなり失われたと考えられる。一方、カワラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、あるいは溶脱+揮散の耐候操作を行った場合では、処理間に差が認められなかった。また、揮散の耐候操作を行った場合では、処理間に差($0.05 > P > 0.01$)があり、2倍希釈液と無処理の間に有意差($P < 0.01$)が認められた。しかし、原液と無処理間には有意差が確

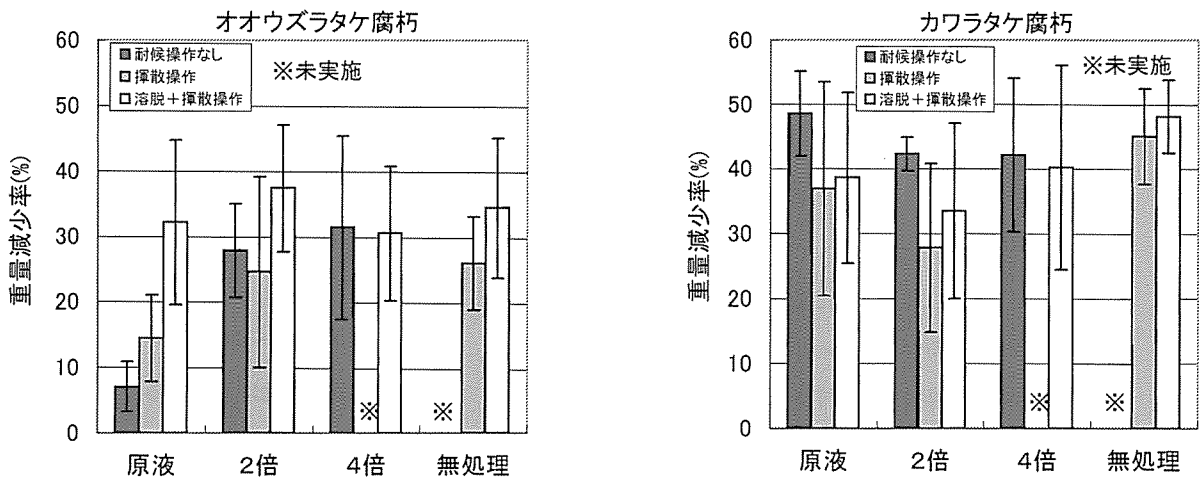


図5 オオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽に及ぼす柿渋の防腐効力

(耐候操作を行っていない無処理試験体は供試していないため、溶脱+揮散の耐候操作を施した無処理試験体を対照区とした。)

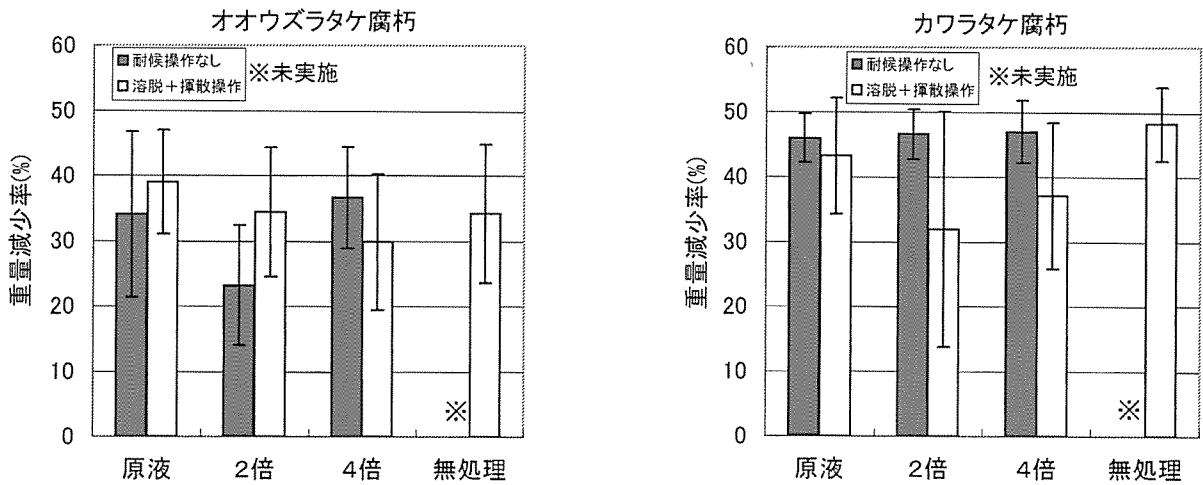


図6 柿渋に浸せき後、紫外線処理した場合のオオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽の影響

(耐候操作を行っていない無処理試験体は供試していないため、溶脱+揮散の耐候操作を施した無処理試験体を対照区とした。)

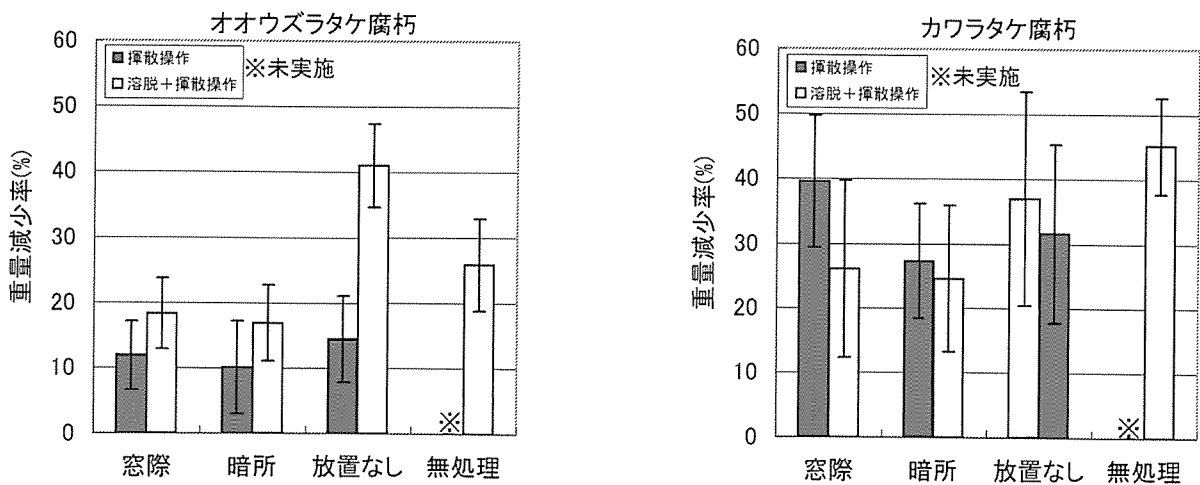


図7 柿渋に浸せき後、室内に21ヶ月間放置した場合のオオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽の影響

(耐候操作を行っていない無処理試験体は供試していないため、溶脱+揮散の耐候操作を施した無処理試験体を対照区とした。)

認められなかった。

以上のことから、柿渋はオオウズラタケ腐朽に対して、僅かに防腐効力を有するが、雨水等の溶脱により効力は低下すると考えられる。また、カワラタケ腐朽に対する柿渋の防腐効果は、ほとんど無いと考えられる。今回行った柿渋の防腐効力は、福田ら⁵⁾が行った場合よりも弱かった。この理由として、今回用いた菌の活性が、福田らが行ったものよりも高かったこと、あるいは両者における柿渋成分の違いによることなどが考えられる。前回、著者が求めた木材腐朽菌に対する柿渋のMIC⁴⁾は、オオウズラタケ200,000ppm、カワラタケ100,000ppmであり、柿渋はオオウズラタケよりもカワラタケに対して抗菌性を示したが、今回の防腐効力試験では逆の結果になった。

3.2.2 紫外線処理および長期間の養生による防腐効果 (1) 紫外線照射による処理

柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理後、フェドメータによる紫外線処理を行った結果を図6に示す。オオウズラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、あるいは溶脱+揮散の耐候操作を行った場合では、柿渋と無処理の間に有意差が認められなかった。一方、カワラタケ腐朽でも同様に、柿渋と無処理の間に有意差は認められなかった。なお、柿渋に浸せき後の試験体は赤褐色を呈していたが、紫外線処理により黒褐色化し、その後の耐候操作では色が褪せて、柿渋による塗膜がはげた状態になった。

以上のことから、紫外線は柿渋によって形成された塗膜の劣化を促し、防腐効力を低下させる効果があると考えられる。

(2) 室内における長期間の養生

柿渋の原液に浸せき後、約21ヶ月間、室内で養生した結果を図7に示す。オオウズラタケ腐朽において、揮散の耐候操作を行った場合、窓際および暗所に放置した時の重量減少率(11.9%, 10.1%)は、無処理(25.8%)あるいは柿渋に浸せき後、長期間放置しなかった時(14.4%)よりも低かった。この場合(揮散操作)の処理間には差($P<0.01$)があり、窓際または暗所と無処理の間で、有意差($P<0.01$, $P<0.01$)が認められた。しかし、窓際または暗所と長期間放置なしとの間に、有意差は認められなかった。また、溶脱+揮散の耐候操作を行った場合では、処理間に差($P<0.01$)があり、暗所と無処理または長期間放置なしとの間に、有意差($0.05>P>0.01$, $P<0.01$)は認められたが、窓際と無処理の間に有意差は認められなかった。一方、カワラタケ腐朽において、揮散の耐候操作を行った場合では、処理間

に差($P<0.01$)があり、暗所と無処理の間で有意差($P<0.01$)が認められた。また、溶脱+揮散の耐候操作を行った場合では、処理間に差($P<0.01$)があり、窓際または暗所と無処理の間に、有意差($P<0.01$, $P<0.01$)が認められた。なお、両腐朽における窓際および暗所の重量減少率は、長期間放置しなかった場合よりも低い傾向を示した。

以上のことから、柿渋に浸せき後、室内で十分養生することにより、オオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽に対する防腐効力が、僅かながら向上する傾向が認められた。柿渋に浸せき後、7日経過した試験体と21ヶ月経過した試験体の色を比較したところ、後者の方が明らかに暗褐色化が進んでおり、耐候操作(溶脱+揮散)後の色褪せも少なかった。つまり、柿渋に浸せき後、室内等で十分養生することにより、柿渋の溶脱が抑制される可能性があると考えられる。

3.2.3 柿渋と金属塩の2段処理による防腐効果

(1) 柿渋と硫酸銅の2段処理

柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理後、硫酸銅0.1mol/l(Cu:0.64%)で2段処理した結果を図8に示す。オオウズラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、柿渋原液~4倍希釈液+硫酸銅の重量減少率(9.8~18.4%)は、無処理(34.3%)の約30~55%に低下した。この場合(耐候操作なし)の処理間には差($P<0.01$)があり、柿渋原液~4倍希釈液+硫酸銅と無処理、および柿渋2~4倍希釈液+硫酸銅と柿渋2~4倍希釈液の間で有意差($P<0.01$, $P<0.01$, $P<0.01$, $0.05>P>0.01$, $0.05>P>0.01$)が認められたことから、これらの2段処理はオオウズラタケ腐朽に対して、防腐効力を有すると考えられる。また、耐候操作(溶脱+揮散)を行った場合では、処理間に差($P<0.01$)があり、柿渋原液+硫酸銅と無処理または柿渋原液との間に、有意差($P<0.01$, $P<0.01$)が認められた。なお、柿渋原液+硫酸銅の重量減少率(15.2%)は、硫酸銅の1段処理(24.3%)よりも低かったが、柿渋原液+硫酸銅と硫酸銅の間には有意差が認められなかった。一方、カワラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、柿渋原液~4倍希釈液+硫酸銅の重量減少率(13.2~16.2%)は、無処理(48.2%)の約40%に低下した。この場合(耐候操作なし)の処理間には差($P<0.01$)があり、柿渋原液~4倍希釈液+硫酸銅と無処理または柿渋原液~4倍希釈液との間で、有意差(すべて $P<0.01$)が認められたことから、これらの2段処理はカワラタケ腐朽に対しても防腐効力を有すると考えられる。また、耐候操作を行った場合では、処理間に差($0.05>P>0.01$)が

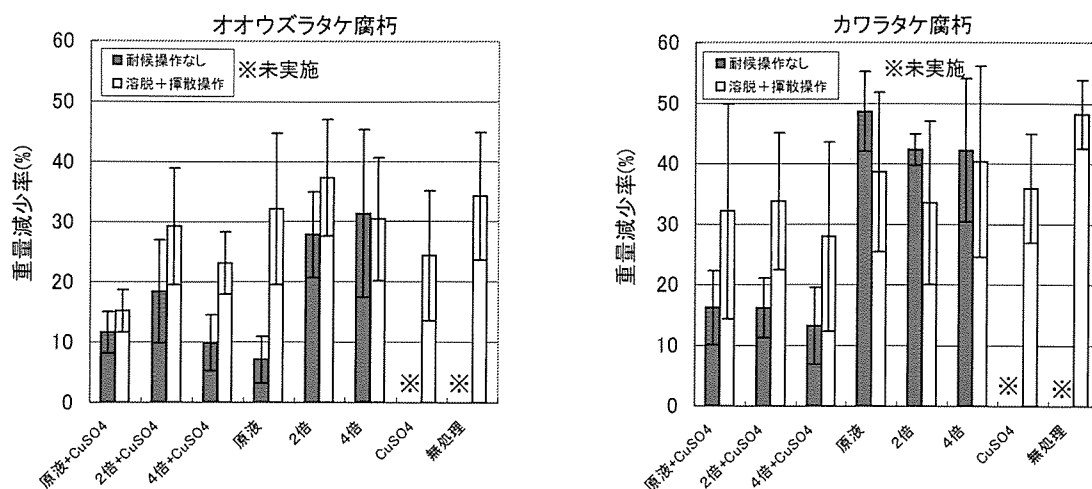


図8 柿渋とCuSO₄の2段処理によるオオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽の防腐効力
(耐候操作を行っていない無処理試験体は供試していないため、溶脱+揮散の耐候操作を施した無処理試験体を対照区とした。)

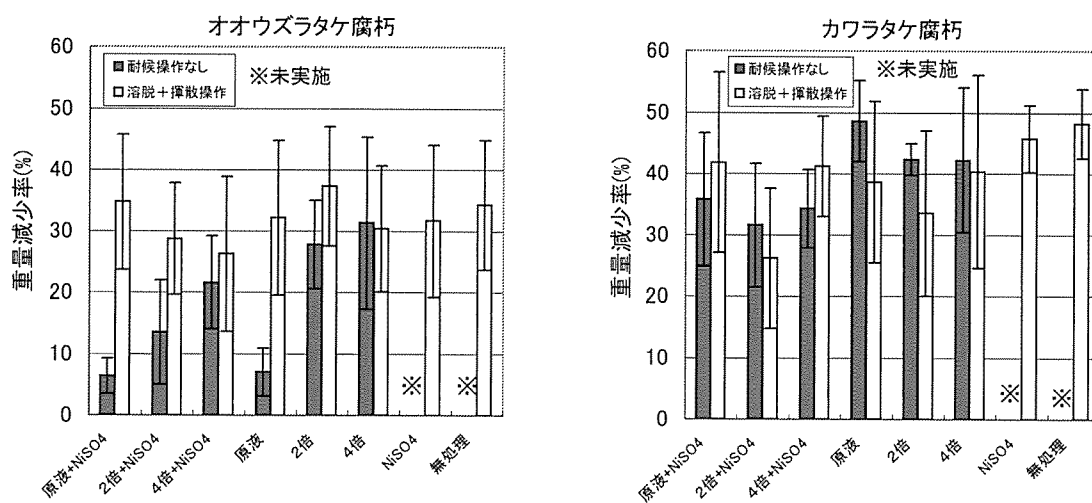


図9 柿渋とNiSO₄の2段処理によるオオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽の防腐効力
(耐候操作を行っていない無処理試験体は供試していないため、溶脱+揮散の耐候操作を施した無処理試験体を対照区とした。)

あり、柿渋4倍希釈液+硫酸銅と無処理の間に有意差 ($P < 0.01$) が認められた。しかし、その他の2段処理と無処理の間では有意差が認められなかったことから、耐候操作を行うことにより防腐効果はかなり低下したと考えられる。なお、両腐朽において、耐候操作を行った場合の柿渋+硫酸銅の2段処理は、柿渋あるいは硫酸銅の1段処理の重量減少率よりも低い傾向を示した。

以上のことから、柿渋+硫酸銅の2段処理は、オオウズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽に対して、耐候操作を行わない場合には防腐効力を有する。また、溶脱作用により効力が低下するものの、柿渋あるいは硫酸銅の1段処理よりも効果があり、カワラタケ腐朽に対するよりも、オオウズラタケ腐朽に対する方が有効に作用すると考えられる。山口らが行った同試験⁶⁾では、カワラタケ腐朽に対しては高い防腐効果を示したが、オオウズラ

タケ腐朽に対してはほとんど効果を示さず、今回の試験とは異なった結果であった。この理由として、山口らが行った試験では、柿渋に含まれるタンニン量に対する、硫酸銅の処理濃度が今回の試験よりもかなり高かったことなどが、影響した可能性も考えられる。

(2) 柿渋と硫酸ニッケルの2段処理

柿渋の原液、2倍、4倍希釈液に1段処理後、硫酸ニッケル0.1mol/l (Ni:0.59%)で2段処理した結果を図9に示す。オオウズラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、柿渋原液～4倍希釈液+硫酸ニッケルの重量減少率(6.4～21.6%)は、無処理(34.3%)の約20～65%に低下した。この場合(耐候操作なし)の処理間には差 ($P < 0.01$) があり、柿渋原液～4倍希釈液+硫酸ニッケルと無処理、および柿渋2倍～4倍希釈液+硫酸ニッケルと柿渋2倍～4倍希釈液の間で有意差(すべ

て $P<0.01$)が認められたことから、これらの2段処理はオオズラタケ腐朽に対して、防腐効力を有すると考えられる。しかし、耐候操作を行った場合の処理間には差が認められなかったことから、溶脱作用により防腐効果はかなり低下したと考えられる。一方、カワラタケ腐朽において、耐候操作を行わなかった場合、柿渋原液～4倍希釈液+硫酸ニッケルの重量減少率(31.5～35.8%)は、無処理(48.2%)の約65～75%に低下した。この場合(耐候操作なし)の処理間には差($P<0.01$)があり、柿渋原液～4倍希釈液+硫酸ニッケルと無処理、および柿渋原液+硫酸ニッケルと柿渋原液の間で有意差(すべて $P<0.01$)が認められたことから、これらの2段処理はカワラタケ腐朽に対して、防腐効力を有すると考えられる。また、耐候操作を行った場合では、処理間に差($P<0.01$)があり、柿渋2倍希釈液+硫酸ニッケルと無処理または硫酸ニッケルとの間で、有意差($P<0.01$, $P<0.01$)は認められた。しかし、他の2段処理と無処理の間では有意差が認められなかったことから、オオズラタケ腐朽と同じく、溶脱作用により防腐効力はかなり低下したと考えられる。

以上のことから、柿渋+硫酸ニッケルの2段処理は、オオズラタケ腐朽およびカワラタケ腐朽に対して、耐候操作を行わない場合には防腐効力を有し、柿渋の1段処理よりも有効であるが、溶脱作用によりその効果はかなり低下すると考えられる。

3.3 柿渋の金属固着性と防腐効力の関連性

柿渋と金属塩の2段処理により、木材への金属固着性は向上した。柿渋+硫酸銅および柿渋+硫酸ニッケルの2段処理は、溶脱作用を伴わない場合、オオズラタケ腐朽とカワラタケ腐朽に対して、防腐効力を有した。しかし、溶脱作用により、柿渋+硫酸ニッケルの防腐効力は、ほとんど失われた。それに対して、金属固着性に優れた柿渋+硫酸銅の場合では、柿渋+硫酸銅と柿渋あるいは硫酸銅との間に、有意差は認められなかったが、これらの1段処理よりも重量減少率は低く、防腐効果が僅かながら向上した。

このことから、柿タンニンと銅イオンとのキレートは、木材への金属固着性を高め、雨水等の溶脱作用による、防腐効力の低下を抑制する効果を持つと考えられる。また、柿渋と金属塩による金属固着性ならびに防腐効力との間には相関があり、金属の種類により効果が異なることが判明した。

本研究では、柿タンニン-キレートの木材への金属固着性およびその防腐性能の関係など、柿渋による木材防腐剤としての効果を確認することができた。今後、高い防腐性能を有し、ユーザーが安心して使用できる木材保存剤(天然物の利用)の開発を検討したい。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、柿渋の提供、ならびに分析を快諾いただいた岩本亀太郎商店 岩本将稔氏に深く感謝します。

引用文献

- 1) 今井敬潤：柿の民俗誌—柿と渋柿. 近畿民族叢書-8. 株式会社 現代創造社, 156-254 (1990)
- 2) 奥田拓男：タンニンの効用. 日本醸造協会雑誌, 78 (10), 728-732 (1983)
- 3) 大原誠資：タンニンの悪臭ガス吸着効果. 第47回日本木材学会大会研究発表要旨集, 409 (1997)
- 4) 奥田晴啓：木材抽出成分の抗菌性. 奈良県森林技術センター研究報告 32, 21-28 (2003)
- 5) 福田清春・上村卓史：木材保存における柿渋の利用. 東京農工大学演研報, 33, 45-49 (1995)
- 6) 山口東彦：金属錯体による木材防腐へのタンニンの利用. 1994年度秋期日本木材学会生物劣化研究会講演集, 1-10 (1994)
- 7) 後藤輝男・岡本一・今村博之・善本知隆・横田徳郎 安江保民：木材利用の化学. 共立出版, 224-225 (1983)

(2003年12月24日受理)