燻煙乾燥されたスギ材の防腐・防カビ・防蟻性能

山本幸一^{*2}・桃原郁夫^{*2}

Fungal and termite resistance of smoke-dried
Cryptomeria japonica wood^{*1}

Koichi YAMAMOTO^{*2}・Ikuo MOMOHARA^{*2}

Summary

Performance of smoke-dried wood on fungal and termite resistance was studied. The smoke seasoning was carried out for 15 days, and the maximum temperature at 80–90°C was continued for 6 days. Small blocks of Japanese cedar (*Cryptomeria japonica*) wood were treated with a smoke-drying facility. Treated blocks of 20×20×10 mm (longitudinal direction) were directly subjected to decay test. Those of 26×26×16 mm were cut into 20×20×10 mm after treatment, and then tested. The surface removal of 3 mm in thickness in the later specimens was aimed to know the depth of smoke penetration into wood blocks. Half of the samples were leached in the cycle of water soaking for 8 h and drying at 60°C for 16 h for 10 days. Decay resistance according to JIS A 9201 was evaluated using a brown rot fungus, *Fomitopsis palustris*. Mass losses of untreated wood, smoke-dried wood, and smoke-dried wood followed by surface removal of 3 mm in thickness were 53%, 16%, and 21% respectively. After leaching for 10 days, their mass losses were 38%, 51%, and 46% respectively. Smoke-dried wood had a little decay resistance against the brown rot fungus, however its effectiveness disappeared completely during the leaching. Mass losses of untreated wood and smoke-dried wood by *Coptotermes formosanus* for 3 weeks were 24% and 5%, and their mortality were 6% and 53% respectively. Smoke-drying did not have any clear effect on preventing the growth of *Aspergillus niger*, *Penicillium citrinum*, *Penicillium funiculosum*, *Aureobasidium pullulans* or *Chetomium globosum*. Smoke-drying increased water repellency on the wood surface.

キーワード Keywords:

燻煙乾燥木材 Smoke-dried wood, スギ *Cryptomeria japonica*, 耐朽性 Decay resistance, オオウズラタケ *Fomitopsis palustris*, イエシロアリ *Coptotermes formosanus*, 撥水性 Water repellency

要 旨

燻煙乾燥されたスギ材の防腐・防カビ・防蟻性能を調べた。燻煙乾燥は、温度80–90°Cの主処理時間の6日間を含めて15日間行った。オオウズラタケを用いた腐朽試験では、燻煙乾燥処理を行ったままの試験体、燻煙処理後に木材表面を3 mm切削した試験体および無処理の試験体(20×20×10 mm)の質量減少率

*1 本論文の一部は、第29回 IRG 大会(1998年6月、マーストリヒト、オランダ)で発表した。

*2 農林水産省森林総合研究所 Forestry and Forest Products Research Institute, P.O. Box 16, Tsukuba Norin Kenkyu, Tsukuba, Ibaraki 305-8687, Japan

は、それぞれ16%, 21%, 53%であった。10日間の溶脱操作を行った試験体では、それぞれ38%, 51%, 46%となった。燻煙乾燥木材は、オオウズラタケに対しある程度の防腐効力を有するが、それは溶脱操作によって完全に失われた。イエシロアリによる防蟻試験では、燻煙乾燥処理を行ったままの試験体と無処理試験体(10×10×20mm)の3週間後の質量減少率は、それぞれ5%と24%, 死虫率は53%と6%であった。カビに対しては、無処理試験体と燻煙乾燥処理試験体(20×50×3mm)の間で明確な違いはなかった。燻煙乾燥処理木材の表面は無処理木材に比べ撥水性が高かった。

1. はじめに

近年、燻煙乾燥や燻煙熱処理など、廃材をエネルギーに用いる乾燥及び熱処理技術が以下のような理由で注目されている。すなわち、処理には、木材の残留応力の低減、含水率の均一化、水分導性の向上、寸法安定性の向上、製材歩留りの向上、防腐効果の付与など様々な効果があるといわれている^{1)~4)}。熱処理による残留応力の低減などの物理的な変化については、多くの研究が行われている^{4), 5)}。しかし、防腐効果に関する研究は極めて少ない⁶⁾。ここでは、燻煙乾燥されたスギ材の防腐・防蟻効果について報告する。

なお、本研究は林野庁による「木材利用促進のための緊急支援研究開発」の「燻煙乾燥及び燻煙処理における各種効果の解明と適性処理条件の確立」の中で行われた。

2. 実験方法

2.1 供試材料と燻煙乾燥処理

山形県産のスギ材(*Cryptomeria japonica* D. Don)を試料に用いた。燻煙乾燥は、温度上昇時間、主処理時間、温度下降時間を含めて、合計15日間行った。温度80~90℃の主処理時間は6日間である。なお、操作ミスのため、途中で一時的に温度が110℃に急上昇してしまった。同時に行った実大材の最終的な含水率は10%近くまで低下した。

防腐試験体、防カビ試験体、防蟻試験体として、それぞれ20×20×10mm, 20×3×50mm, 10×10×20mmの試験体を予め作成した。燻煙乾燥処理を行うと、木材表面は燻煙成分の付着と熱により黒色化する。木材表面に付着した燻煙成分の耐久性への関与の程度を知るため、処理木材の表面を3mm切削するための表面切削用の試験体も同時に処理した。すなわち、表面切削用の防腐試験体、防カビ試験体として、26×26×16mm, 26×9×56mmを予め作成し、燻煙乾燥後に表面を切削した。表面切削用の防蟻試験体は作成しなかった。

2.2 防腐効力試験

防腐効力試験はJIS A 9201(1991)に従って行った⁷⁾。

燻煙乾燥処理を行ったままの試験体、燻煙処理後に木材表面を3mm切削した試験体および無処理の試験体(20×20×10mm)を、それぞれ18個準備した。このうち、半数はJIS A 2901の方法で、10日間の溶脱操作を行った。60℃で恒量を測定後、オオウズラタケ(*Fomitopsis palustris* Murr)で12週間強制腐朽させ、質量減少率を求めた。

2.3 防カビ効力試験

防カビ効力試験は、(社)日本木材保存協会規格第2号(1992)に従って行った⁸⁾。供試菌は*Aspergillus niger* van Tieghem, *Penicillium citrinum* Thom, *Penicillium funiculosum* Thom, *Aureobasidium pullulans* Arnaud, *Chetomium globosum* Kunze ex Friesの5種である。燻煙乾燥処理を行ったままの試験体、燻煙処理後に木材表面を3mm切削した試験体および無処理の試験体(20×3×50mm)を、1菌種につきそれぞれ4個準備した。孢子懸濁液の接種から4週間後に試験体上面の菌体の発育状況を実体顕微鏡下で観察し、以下のように5段階に評価した。菌体が試験体上面(20×50mm)に発育した面積割合が1/5未満では1, 1/5から2/5では2, 2/5から3/5では3, 3/5から4/5では4, 4/5以上では5とした。

2.4 防蟻効力試験

防蟻効力試験は、(社)日本木材保存協会規格第11号(1992)に従って行った⁹⁾。燻煙乾燥処理を行ったままの試験体と無処理の試験体(10×10×20mm)それぞれ3個を、イエシロアリ(*Coptotermes formosanus* Shiraki)の職蟻150頭と兵蟻15頭の入った飼育容器に3週間置き、質量減少率と死虫率を測定した。耐候操作は行わなかった。

2.5 木材表面の撥水性の評価

燻煙乾燥処理材および無処理木材の表面に、室温下で40μlの蒸留水を滴下し、滴下直後、1分後、6分後に接写撮影を行い、木材表面と水滴の接触角を写真上で測定した。

3. 結果と考察

3.1 防腐効力試験

オオウズラタケの菌体が試験体を覆う早さは、溶脱操作なしの燻煙乾燥処理材では、他に比較して遅かった。表面切削処理は無処理と大差なかった。これは、後で述べるように、燻煙乾燥処理材の表面の高い撥水性によると考えられる。12週間強制腐朽後の質量減少率を図1に示す。質量減少率は、燻煙乾燥処理を行ったままの試験体、燻煙処理後に木材表面を3 mm 切削した試験体および無処理の試験体で、それぞれ16%, 21%, 53%であった。燻煙乾燥処理を行ったままの試験体と燻煙処理後に木材表面を3 mm 切削した試験体との質量減少率の相違は少なかった。燻煙成分は少なくとも木材表面から3 mm は木材中に入っていたと考えられる。燻製ハムの場合、燻煙工程で生成した多環芳香族化合物の95%は表層から1 cm 以内に存在していた¹⁰⁾。10日間の溶脱操作を行った試験体では、質量減少率はそれぞれ51%, 46%, 38%となった。燻煙乾燥木材は、オオウズラタケに対しある程度の防腐効力を有したが、それは溶脱操作によって完全に失われた。本実験の結果は、直接燻煙処理した試験体についての結果である。一方、丸太で燻煙処理を行い、その丸太の内部から得られた試験体についての実験では、燻煙処理はかえって耐朽性を低下させたと報告されている⁶⁾。すなわち、カワラタケによる腐朽では質量減少率に差はなかったが、オオウズラタケでは無処理に比較して処理材は質量減少率が高く、更に処理時間が長いと質量減少率は増加した。このように燻煙処理木材の防腐効力試験の結果の傾向は本研究とは全く異なった。

処理時間の延長により防腐効力が低下するというこの報告は、木材の熱による劣化に基因するのかも知れない¹¹⁾。燻煙処理を試験体の形で行った本実験では、ある程度の防腐効力が認められたことから、防腐効力の発現は、燻煙成分の木材中への侵入によると考えられた。燻煙成分は、アルデヒド類、フェノール類、有機酸類などの相乗効果により強い抗菌性を発現することが知られている¹²⁾。

3.2 防カビ効力試験

日本木材保存協会規格第2号に従って行った防カビ効力試験では、無処理試験体と燻煙乾燥処理試験体の間で明確な違いは見い出せなかった(表1)。一方、野外杭試験では、半年経過した時点で、燻煙乾燥処理した試験杭の地中部に著しいカビの発生が見られた。燻煙処理木材

図1 燻煙処理材のオオウズラタケによる質量減少率 (%)

Fig. 1 Mass loss of smoke-dried wood by *Fomitopsis palustris*

の防カビ効力については、室内及び野外試験を更に行うことが必要である。

3.3 防蟻効力試験

日本木材保存協会規格第11号に従って行ったイエシロアリによる防蟻試験では、燻煙乾燥処理を行ったままの試験体と無処理試験体の3週間後の質量減少率は、それぞれ5%と24%であった(表2)。

燻煙乾燥処理試験体にはイエシロアリは殆ど寄り付かず、摂食は極めて僅かであった。両者の死虫率は、それぞれ53%と6%であった(表2)。

試験に用いた飼育容器内の環境は閉鎖系であり、揮発性の燻煙成分がイエシロアリの活力を減じ、両者の質量減少率と死虫率に大きな違いを持たしたのかも知れない。更に、野外試験を行う必要がある。

3.4 木材表面の撥水性

木材表面と滴下した水滴との接触角は、燻煙処理した試験体は無処理試験体に比較して大きかった(表3)。

燻煙乾燥処理による木材表面の撥水性の向上は、木材表面にフェノール成分とアルデヒドとの反応により樹脂膜が形成されることによるかも知れない¹³⁾。あるいは、製品の表層に多く付着するといわれている多環芳香族炭化水素が寄与しているかも知れない¹⁰⁾。木材表面の撥水性は、木材の耐朽性の発現と密接に関連している¹⁴⁾。

前述したように、撥水性の向上は、燻煙乾燥処理木材の耐朽性発現にある程度寄与しているのであろう。

表 1 燻煙乾燥木材の防カビ効力試験結果
Table 1 Degree of mould growth for smoke-dried wood specimens

供試菌 Fungal species	無処理 Control	燻煙乾燥処理 Smoke-dried	燻煙乾燥処理後表面切削 Surface removed
<i>Aspergillus niger</i>	2*	2	1
<i>Penicillium citrinum</i>	2	3	2
<i>Penicillium funiculosum</i>	2	1	2
<i>Aureobasidium pullulans</i>	5	2	5
<i>Chetomium globosum</i>	2	4	2

* 数字は、菌体が試験体上面(20×50mm)に発育した面積割合を示す。1は1/5未満, 2は1/5から2/5, 3は2/5から3/5, 4は3/5から4/5, 5は4/5以上。

* Figures show the percentage of fungal growth area covering the tangential surface of wood specimens (20×50 mm). 1: 0–20%, 2: 20–40%, 3: 40–60%, 4: 60–80%, 5: 80–100%.

表 2 燻煙乾燥処理木材及び無処理木材の室内防蟻効力試験結果
Table 2 Termite resistance of smoke-dried wood and untreated wood

試験体 Wood samples	質量減少率 Mass loss (%)	死虫率 Mortality
燻煙乾燥処理木材 Smoke-dried wood	5	53
無処理木材 Untreated wood	24	6

表 3 燻煙乾燥処理木材及び無処理木材表面への水滴滴下後の接触角の経時変化
Table 3 Time course of contact angle after application of water droplet on smoke-dried wood and untreated wood

水滴滴下後の接触角の経時変化 Time course of contact angle after application of water droplet			
試験体 Wood samples	滴下直後 0 sec	1分後 1 min	6分後 6 min
燻煙乾燥処理木材 Smoke-dried wood			
早材部 Earlywood	110	102	90
晩材部 Latewood	110	106	93
無処理木材 Untreated wood			
早材部 Earlywood	79	69	61
晩材部 Latewood	81	70	66

4. ま と め

直接燻煙乾燥処理した試験体では、オオウズラタケに対しある程度の防蟻効力を示した。丸太で燻煙処理を行

い丸太内部から得た試験体では、燻煙処理はかえって耐朽性を低下させたという報告と併せて考えると、熱処理による木材成分の変化ではなく木材中に浸入した燻煙成分が耐朽性に関与していると考えられる。イエシロアリ

は、室内試験では燻煙乾燥処理試験には殆ど寄り付かず、摂食は極めて僅かであり、死虫率も無処理試験体に比べ高かった。一方、燻煙乾燥木材は、カビに対しては抵抗性を示さなかった。また、燻煙乾燥処理により木材表面の撥水性が向上した。燻煙処理による燻煙成分の木材中への侵入と木材表面の撥水性向上が、木材にある程度の耐朽性を付与したと考えられた。しかし、その耐朽性は10日間の溶脱操作によって完全に失われた。

謝 辞

燻煙乾燥処理及び試験体の作成を行って頂いた、(株)くん煙健康もくざいの阿部正武氏および森林総合研究所の木工室の方々に感謝します。

引用文献

- 1) 森三郎：林業試験場彙報，**36**，113-120 (1934)
- 2) 野村隆哉：木材研究・資料，**31**，31-43 (1995)
- 3) 安藤實，高橋伸英，吉澤伸夫：木材学会誌，**42**，845-853 (1996)
- 4) 藤本登留，河辺純一，又木義博：九大演報，**76**，39-48 (1997)
- 5) 奥山剛，金川靖，服部芳明：木材学会誌，**33**，837-843 (1987)
- 6) 高宮立身：大分県林業試験場年報，**39**，43-44 (1997)
- 7) 日本工業規格：木材防腐剤の性能基準及び試験方法，JIS A 9201 (1991)
- 8) (社)日本木材保存協会規格第2号：木材用防かび剤の防かび効力試験方法 (1992)
- 9) (社)日本木材保存協会規格第11号：塗布・吹き付け・浸せき処理用木材防蟻剤の防蟻効力試験方法(1)室内試験方法 (1992)
- 10) K.S.Rhee and L.J.Bratzler: J. Food Sci. **35**，146 (1970)
- 11) 奥山剛，山本浩之，小林功：木材工業，**45**，63-67 (1990)
- 12) グュエン・ヴァン・チュエン，加藤博通：日本農芸化学会昭和58年度大会講演要旨集，589 (1983)
- 13) 太田静行，高坂和久，グュエン・ヴァン・チュエン：スモーク食品，恒星社厚生閣 (1997)
- 14) K.Yamamoto, M.H.Simatupang, R.Hashim: Holz als Roh-und Werkstoff, **56**，201-209 (1998)

(1998. 9. 18受理)