

# 岩手県産アカマツ材の青変防止と建築用内装材としての利用技術

谷内 博規

Research on technology used as preventing blue-stain and interior material for construction  
of Akamatsu-wood produced in Iwate Prefecture

Hironori TANIUCHI

## 要 旨

岩手県産アカマツ材の建築用内装材としての高付加価値利用のため、通年出荷を阻害するアカマツ青変被害現象の把握と青変防止方法の考案を行うとともに、利用拡大のため材表面の高硬度化、防火性能付与のための生産技術開発について述べた。青変被害に関しては菌の伸展と青変拡大の状況が把握され、実用的な青変防止方法が提案できた。材表面の高硬度化については広葉樹相当の表面硬度が得られるLVL製造方法が開発（特許第3432198号，H15.5.23）された。防火性能付与では簡易な薬剤処理による開槽温冷浴法を開発するとともに、防火処理材の太陽光による変色，湿度変化による薬剤噴出を抑制するための塗装技術が開発された。これらの成果をもとにした青変防止法，材表面高硬度化および防火性能付与技術は，岩手県内ですでに実用に供されている。

## 目 次

第1章 序 論	2	ビ剤を用いた薬剤処理試験	15
1.1 はじめに	2	3.4 被覆材を用いてキクイムシ類の穿孔を阻害した際の青変防止効果	19
1.2 既往の研究	2	第4章 内装材としてアカマツを利用するための表面改質技術	24
1.2.1 木材の青変被害に関する研究	2	第5章 アカマツ材の防火処理	29
1.2.2 木材の硬度向上に関する研究	4	5.1 リン系薬剤を用いて防火処理を行うときのアカマツ材の薬剤含浸性と防火性能	29
1.2.3 内装材の防火処理に関する研究	4	5.2 開放型の薬液槽を用いた浸漬によるアカマツ材の難燃化処理	31
第2章 アカマツ材内部への青変菌の伸展と青変拡大	7	5.3 防火処理木材の防火性，耐光性および耐湿性に与える塗装の影響	33
2.1 アカマツ青変部から分離された青変菌	7	第6章 総 括	36
2.2 アカマツ青変現象に及ぼす，温度，水分，酸素濃度の影響	8	謝 辞	37
第3章 合理的な青変被害防止の試み	11	参考文献	37
3.1 林地におけるアカマツ丸太の青変に対する防虫剤と防カビ剤の効果	11	SUMMARY	42
3.2 季節別の青変挙動と防虫剤と防カビ剤の青変防止効果	13		
3.3 有効成分の異なる12種類の市販防虫剤，防カ			

## 第1章 序 論

### 1.1 はじめに

全国のアカマツ (*Pinus densiflora* Sieb. et Zucc.) 森林面積は天然林, 人工林をあわせて195万ha<sup>136)</sup>あり, その産地は東北, 中国地方に多く, 特に岩手県のアカマツは一般に南部アカマツと称されている<sup>123)</sup>。

岩手県のアカマツ材の資源は, 森林面積は全国の11%<sup>136)</sup>を占め, その蓄積量が約3300万m<sup>3</sup>以上<sup>39)</sup>と全国でも最大となっている。岩手県の統計資料(2006)<sup>21)</sup>によれば, 人工林では8齢級に極大値を持つ分布となり, 10齢級を用材適木の伐期とするのであれば, 5-15年後には多くの林分が伐期となる。一方, 天然林では10齢級以上が82%を占め, すでに天然林の多くは伐期に突入している状況にある。岩手県のアカマツ総資源量に占める10齢級以上の割合は39%となっており, 県内のアカマツ資源はすでに利用拡大を進める時期に突入しているといえる。

しかし, アカマツは春から夏にかけて伐採すると, 材が黒, 青色に変色して化粧性などを低下させる青変被害が発生するため, 通常は秋から冬に伐採・流通している。このことは素材供給が季節的となることを意味するが, 需要側の製材工場などでは, 素材供給が不安定となるため, バイマツ, 欧州アカマツなどの代替材の進出や材価低下を招来する要因となっている<sup>67)</sup>。この状況を打開するためには, 青変被害対策を立て, 通年出荷体制を構築することが不可欠である。

また, アカマツは, 製紙用原料であるパルプ・チップ材, 青果用の函材, 建築部材である平角材, 内装材などが主用途として挙げられるが<sup>67)</sup>, その利用は安価な製品であるパルプ・チップ材, 函材などへ偏っているため, アカマツ製材は, 他の針葉樹製材に比べ, 収益性の低い状況となっている。収益性の改善のためには, 建築部材の生産の効率化が必要であり, 量産による低コスト化, 製材歩留まりの向上, 高付加価値製品の製造がその方策として挙げられる。しかし, 県内の製材工場は小規模経営で, 新規設備投資による量産化は難しい状況にある。したがって, 従来の生産体制・既存設備を活用し, 素材の価値歩留まりの向上を行うため, 材質を改良した収益性の高い高付加価値商品を開発・製造することが問題解決の一方策と考える。

本研究はそのうち, 特に青変被害と内装材としての需要に着目し, アカマツ材の通年出荷を目的とした青変防止技術の開発および付加価値の高い商品の生産のための技術開発を進めるため, 現状における課題の抽

出とその解決策に関する研究を行ったものである。

本論文の構成は以下のものである。

第1章では, 本研究の背景と既往の研究を概説した。

次いで, アカマツ材を内装材として利用するにあたり, 化粧性を阻害し, 通年出荷を困難にしている青変被害について述べた。このうち, 第2章では, 原因菌の分離を行い, 青変菌の生育条件や変色進展要因に関する解析を行った。また第3章では, 青変被害の形態とその防止方法の開発について述べた。

さらにアカマツ材の建築用内装材の実用化を目指した開発研究として, 第4章では, 傷の付きにくいアカマツ内装材料を開発するため, 軟質早材部をLVL化により分散させ, その積層面を表面とした材料に塗装を行うことによる表面の高硬度化を試みた結果を, 第5章では, 需要の新規開拓として, 公的(特殊)建築物の内装の木質化に着目し, 薬剤処理によるアカマツ材への防火性能の付与を行った結果を, それぞれ述べた。

第6章では以上の結果を総括している。

なお, 本論文の一部は既に岩手県林業技術センター研究報告等<sup>76-88)</sup>で報告している。本論文はこれら成果をまとめたものである。

### 1.2 既往の研究

#### 1.2.1 木材の青変被害に関する研究

青変被害とは, 木材に変色を引き起こす被害のうち, 辺材部へ菌が侵入し, 材色に青みがかかるものの総称であり, その原因菌は青変菌と呼ばれている<sup>14)</sup>。青変被害は春から夏にかけて顕著に発生するため, 被害を受けやすいアカマツは通常, 秋から冬に伐採, 製材されている。青変は林内に放置してある丸太, 製材工場貯木場の丸太, 製材後の背板, 製材品の辺材部, 木口で多く観察される。

青変被害を防止するためには, 比較的高濃度の防カビ剤<sup>91)</sup>, 速やかな乾燥<sup>44)</sup>が必要とされるが, 実際には被害を止めることが難しい状況となっている。この被害を防止するためには, どのような経路で菌が丸太へ伝搬されるかが必要となるが, このことに関する詳細な研究は, これまで行われていなかった。現状では, 菌は, 主として空中浮遊または雨や霧などの水分移動によって物理的に伝搬する説<sup>33, 99)</sup>と樹皮下キクイムシ類により生物的に伝搬する説<sup>128)</sup>の2つが報告されている。前者の「物理的伝搬説」に基づく研究では青変被害の原因菌を青カビと称し, 防カビ剤を主体とした青変被害防止処理が試みられている。一方, 後者の「生物的伝搬説」に基づく研究では樹皮下キクイムシ類と青変菌

の関係が詳細に検討されているが、木材の青変被害防止の観点から研究が行われていない。青変被害に関するこれまでの研究詳細について以下に示す。

### 1) 青変菌に関する研究

針葉樹の青変に関しては、ドイツの Hartig (1882) による研究が最初とされ、その後、アメリカの Schrenk (1903) によって、植物病理学的な研究が行われた<sup>20)</sup>。日本では笠井 (1917)<sup>93)</sup>、西門 (1933)<sup>93)</sup>、北島 (1938)<sup>44)</sup> がマツ類の青変について、丸太の含水率低下と青変被害の発生、樹皮下キクイムシの虫害と青変菌促進の関係を検討している。その後、青島、林<sup>18-20)</sup> によってエゾマツ、アカマツの青変菌数種類の分離、培養、同定、材変色試験という体系的な研究が行われた。青変菌に関する研究は、現在まで各国で行われ、青変はアカマツ、クロマツ、エゾマツ、カラマツ、ブナ、ニレ、ミズナラ、コナラ、ドイツトウヒ、ダグラスファーなどの樹種で報告されており、樹種により分離される菌の種類が異なること知られている<sup>126)</sup>。しかし、青変を引き起こす菌群の分類学的所属は研究者間で統一した見解が得られていなかった<sup>126)</sup>。

その後、Wingfield, Seifert, Webber ら (1993)<sup>14)</sup> は、木材の辺材部への菌の侵入による灰色、青色、黒青色、褐色、黒色などの変色要因を次のように定義している。

- (1) オフィオストマ様菌類：子囊菌類 *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Ceratocystiopsis* 属菌,
- (2) Black yeast と呼ばれる菌類：*Hormonema dematoides* Lagerb. et Melin, *Aureobasidium pullulans* (de Bary) Arn., *Rhinoctadiella atrovirens* Nannf., *Phialophora* spp. 等,
- (3) その他の不完全菌類：*Alternaria alternata* (Fr.) Keissler, *Cladosporium* spp. 等

このうち、青みがかった変色は、総称して青変 (blue stain) と呼び、その原因である *Ceratocystis*, *Ophiostoma*, *Ceratocystiopsis* 属菌とそのアナモルフは青変菌 (blue stain fungi) としている。

日本では山岡、升屋、金子ら (1999)<sup>7, 126, 127)</sup> が、この分類方法により、国内の青変菌を再分類した。この結果によれば、日本国内で正式に報告されているオフィオストマ様菌類は新たに分離された菌も含めて 24 種であり、その内訳は、*Ceratocystis* 属菌 8 種、*Ophiostoma* 属菌 15 種、*Ceratocystiopsis* 属菌 1 種としている。

また、青島 (1952)<sup>19)</sup> などが報告している *Leptographium* 属菌は *Ophiostoma* 属菌のアナモルフと考えられているが、*Leptographium* 属菌のテレモルフが見つかっていないため、不完全菌類として分類されている。仮にこれらもオフィオストマ様菌類として分類されれば、国内

の青変菌の数は今後も増加することを示唆している。

### 2) 青変菌と樹皮下キクイムシに関する研究

西門 (1933) の報告にもあるように、青変菌は樹皮下キクイムシと密接な関係を有していることが知られている<sup>7, 19, 93)</sup>。樹皮下キクイムシはキクイムシ科 (Scolytidae) に属し、黒色の体長 1-9 mm の甲虫である。樹皮下キクイムシの多くは、倒木、伐採木、枯死木、気象害を受けた衰弱木などの樹皮下に潜り込み、主に内樹皮を食料としている。樹皮下キクイムシの虫体や孔道からは、糸状菌、酵母、細菌類などの微生物が分離され、キクイムシの種類によって、それぞれ特定の菌類が優占的に観察されている<sup>128)</sup>。その一つとして、青変菌が挙げられ、山岡 (1997, 1998)<sup>16, 17)</sup>、升屋ら (1998)<sup>11)</sup> によって多くの報告がされている。Paine ら (1997)<sup>12)</sup> は、樹皮下キクイムシが体表または体内に青変菌の胞子を持ち、新しい繁殖の場に移動し樹皮下へ孔道を形成する際、青変菌は孔道周辺の内樹皮の組織を破壊し、木の抵抗性反応である樹液の流出を妨害することにより、キクイムシの繁殖活動を支援する役割を担っていると考えている。

### 3) 薬剤を用いた青変防止に関する研究

青変被害の要因が菌類であることから、その防止のため、これまで、殺菌剤の効果について検討が行われてきた。西門 (1925)<sup>94)</sup>、青島ら (1952)<sup>19)</sup> はそれぞれ寒天培地を用いた基礎的研究を行っている。また、北島 (1939)<sup>45)</sup> は、アカマツ伐採後、林地でクレゾール、フェノール、硫酸銅アンモニア水溶液などを用いて、丸太の青変防止を試み、硫酸銅アンモニア水溶液の木口青変に対する高い効果を報告している。慶野 (1969)<sup>52)</sup> は、マツ生丸太について、「伐採直後にペンタクロロフェノール (PCP) 2% 乳液、ベンゼンヘキサクロライド (BHC) 1% を併用して散布すると 5~7.5 ヶ月間の青変防止が可能」とし、さらに詳細な観察により、「辺材部の青変はアンブロシアビートルの穿孔より、樹皮下キクイムシの穿孔の方の影響が大きい」ことを示唆しているが、樹皮下キクイムシと青変菌の種類に関しては調査が行われていない。

その後、アカマツやブナなどの青変被害が発生しやすい丸太の防虫防菌には PCP, BHC が用いられるようになり、薬剤の丸太への浸透性などの研究<sup>49-51)</sup> が行われた。1970 年代後半になると、環境、人体への安全性の配慮から、低毒性の新規薬剤による青変防止が試みられている。井上 (1976)<sup>33)</sup>、布村 (1976)<sup>99)</sup> は、青変を単に「木材に発生するカビ (これを木材変色菌と定義) の被害」として位置付け、「この防止には、伐採



後の林内で有機リン剤などの防虫剤、あるいは有機ハロゲン系、有機スズ系の防カビ剤の散布が有効である」と紹介しているが、青変菌に関する検討が無い。

1980年代以降は輸入材の増加を背景に、ラジアータパインの青変防止について研究が行われている<sup>92,129,130</sup>。また、新規薬剤の性能評価が進む中、青変は青カビ被害の一つとして位置付けられ、防カビ剤の青変防止効果について多くの検討が続けられているが、樹皮下キクイムシと青変菌に関する検討が十分になされていないものが多く<sup>1-3,104,111</sup>、単なる菌の汚染についての薬剤散布となっている。

### 1.2.2 木材の硬度向上に関する研究

「硬さには普遍的な量としての定義が無く、様々な機械的性質、物理的、化学的性質が複合された感覚である<sup>90</sup>。」ともいわれているが、木材の硬さの指標として JIS Z 2101 で採用されているのはブリネル硬さ試験<sup>118</sup>である。これは、材料表面に直径 10mm の鋼球を静的に一定量めり込ませ、圧入面積 10mm<sup>2</sup> 時の応力を算出する方法である。そのため木材の圧入部分における平均的なめり込み強さを測定していることになるが、通常、木材の硬さ（硬度）といえば、この数値をいうことが多い<sup>41</sup>。

木材表面の硬度向上には、材料の分子間の凝集力の向上、密度の増加が必要となる。木材に関して行われた研究としては、細胞壁と一部反応し、細胞壁の凝集力を向上させるフェノール処理<sup>106,107</sup> やグリオキサール処理<sup>28,29</sup>、細胞空隙にポリマーを充填した WPC 処理<sup>107</sup>、横圧縮変形による密度の増加を行った圧密処理<sup>105</sup> が挙げられる。これまでの研究を以下に示す。

木材の硬度向上の研究に関しては<sup>107</sup>、1940-1950 年代に Stamm ら (1944) や後藤ら (1953) によって行われたフェノール樹脂処理が最初に挙げられる。この処理は、フェノール-ホルムアルデヒド樹脂の初期縮合物を木材に注入し、硬化させることにより、力学的性質と寸法安定性を改善する方法である。この処理方法には素材に樹脂溶液を加圧注入し硬化させる方法（樹脂注入材、Impreg 法）と単板に樹脂を含浸し、積層硬化させる方法（硬化積層材、Compreg 法）の 2 つのタイプがある。Compreg 法では、積層硬化する際に圧縮効果により高密度、高強度の材料が得られるので「強化木」の名称で呼ばれていた。Yellow poplar をフェノール樹脂で処理した場合、曲げ強度で 1.3-2 倍、縦圧縮強度で 2 倍の機械的性質の改善が図られている<sup>89,107</sup>。

1950 年代には、スチレン、メタクリル酸メチルなどのビニル系モノマーを木材に含浸し、放射線を照射す

ることにより、木材中でモノマーを重合させる木材-プラスチック複合体（Wood-plastic combination、または、Wood-polymer composite、WPC 処理）の研究がアメリカ、ソ連で開始され、石油化学工業の発展とともに、1960-1970 年代には世界の主要国へと研究開発が拡大された<sup>89</sup>。日本においても、平山 (1955) により触媒加熱法を用いた WPC の製造方法が提案され<sup>89</sup>、様々な研究が行われ<sup>42,48,64</sup>、1970 年代には WPC の企業化、製品化が実現し、床材料などへ利用されている。カバ材を WPC 処理した場合、曲げ強度で 1.3-1.7 倍、縦圧縮強度で 1.5-2.5 倍、横圧縮強度で 4.4-6.3 倍の機械的性質の改善が図られている<sup>63</sup>。

1990 年代には寸法安定化と硬度向上を目的とした処理に関する研究が行われている。藤本 (1993) によりマレイン酸とグリセリンの混合溶液を木材に含浸し、材内でエステル結合させる MG 処理に関する研究<sup>113</sup> が、伊藤 (1996) によりアミノ系の水溶性樹脂を用いたグリオキサール処理に関する研究<sup>30</sup> が行われ、針葉樹材の寸法安定性と表面硬度を併せ持つ製品の実用化が行われている。スギ材をグリオキサール処理した場合、曲げ強度で約 1.3 倍、縦圧縮強度で 2 倍の機械的性質の改善が図られているが、靱性の低下を報告している<sup>30</sup>。

木材を横圧縮し、乾燥により固定すると機械的性質が改善されるが、水分と熱の作用でほぼ元の形状に回復することが知られている。井上 (1993) はスギ材を圧縮率 50% 以上に横圧縮変形させ、水蒸気を用いて永久固定し、表面硬さの改質を行っている。スギ材を圧縮率 60% に圧密すると、曲げ強度は 2.5 倍、ブリネル硬さは 4 倍に改質されることを報告している<sup>36</sup>。

### 1.2.3 内装材の防火処理に関する研究

住宅内装の壁、天井には木材が用いられることが多いが、さらに需要を高めようとする場合は、学校、公会堂、病院などの公共性の高い特殊建築物<sup>55,56</sup> の内装が考えられる。しかし、日本では、これらの建築物は建築基準法に定められる内装制限<sup>53,55,56</sup> により、防火材料認定要領の基準を満たさなければ使用することが出来ない。防火材料には不燃<sup>58</sup>、準不燃、難燃<sup>57</sup> があるが、それぞれ満たすべき基準が異なり、各材料により使用できる部位の制限が異なる。このような状況下、特殊建築物の内装への木材利用を目的とした研究が行われている。その方法は、燃焼を阻害する薬剤を木材へ含浸するものが多い。以下に防火試験方法の変遷および防火処理に関するこれまでの経緯を示す。

#### 1) 防火材料の試験方法

森 (1950)<sup>119</sup> によれば、「満州事変の後、防空の観

点から都市の防火対策が問題となり、1935年（昭和14年）に防空建築規則が公布され、法的な裏付けを持って建築用耐火木材の生産と使用が行われるようになった。当時の試験方法は断面5mm角の棒状の試験片を10秒間ガスバーナーで熱して着炎しないことと残炎時間を測定する簡易なものであった。」とされる。また、前川（1960）<sup>114)</sup>は「戦後、1950年（昭和25年）に建築基準法が制定され、防火規定が整備されているが、屋外、屋内の防火材料の使用に関しての区別はなかった。しかし、東宝劇場の火災（1958）を契機に、1959年（昭和34年）に建築基準法が改正され、内装制限が実施されている。」と記している。これまでは、建物の外部からの防火が主として考えられていたが、内部からの防火の必要性が重視された結果、特殊建築物の内装を制限することによって、出火の低減と多数の人の避難の安全性が重要と考えられている<sup>121)</sup>。

このとき、内装の防火の目的で、不燃、準不燃、難燃材料が定義され、建築物の内装材料の難燃性試験法がJIS A 1321-1959として制定されている<sup>110, 121)</sup>。ここでは建築物の屋内の火災性状に従った加熱曲線（温度は7分で540℃、10分で665℃、15分で740℃）を設定し、不燃材料で15分間、準不燃材料で10分間、難燃材料で7分間、ガスバーナーで材料（600×900mm）表面を加熱し、材料の裏面温度が260℃（木材表面が瞬間的に着する温度）を越えず、加熱終了後30秒以内に材料表面の炎が消えることを主たる基準としていた。この制定によってこれまで防火面についてほとんど関心を持たなかった合板、内装材料製造企業などが影響を受け、防火建材の研究開発<sup>23, 38, 59, 120, 132)</sup>が促進された。このような状況下で、JASに難燃合板の規格<sup>97)</sup>が整備されている。

その後、試験方法は改良され、JIS A 1321-1975に規定される表面試験となった。この試験法では、不燃材料であるケイ酸カルシウムボード表面をガスバーナー、電熱ヒーターで加熱した際に、排気される空気の経時的な温度変化を標準温度曲線として材料を加熱し、着火性、発熱性、発煙性、自己消火性の4つの指標が、各材料で設定される基準値以内であることを判定条件としている<sup>108)</sup>。さらに表面試験は、温度計の規格と試験結果報告の事項が変更され、JIS A 1321-199470)となっている。

近年、国際社会における経済のグローバル化、火災安全工学の目覚ましい進展などにより、材料の防火性能の評価手法が世界的に見直され、これまでの「燃える」、「燃えない」の判別から、「どのように燃えるか」

というデータを基に、設計基準を設定する機運の影響で、2000年に建築基準法が改正され、ISO5660に規定されるコーンカロリメーターを用いた試験に変更されている<sup>108)</sup>。この試験では、小さな平板状に切り出した材料を円錐形のコイル状ヒーターにより加熱し、経時的な燃焼発熱速度の変化と燃焼開始から終了までの総発熱量を求め、材料の防火性能を評価している<sup>108)</sup>。

## 2) 木材の防火処理

石原（1989）<sup>27)</sup>は、木材燃焼を発炎燃焼、赤熱燃焼と大別し、発炎燃焼の要素を可燃物、熱エネルギー、酸素、燃焼の連鎖反応、赤熱燃焼の要素を可燃物、熱エネルギー、酸素と定義している。そして、これら燃焼要素うちひとつでも取り除くことができれば、木材燃焼の抑制、防止が可能となるとしている。また、その方法について次のように大別している。

○物理的方法：不燃性材料との併用により、可燃性成分の割合を減少させる方法。および材料を被覆することにより、火炎、熱、酸素を遮断する方法。

○化学的方法：アルカリ金属、アルカリ土類金属、ホウ素、リン、ハロゲンなどを用いて木材を改質し、火炎下において、燃焼抑止化合物を生成させる方法。

木材燃焼の抑制、防止の化学的方法、すなわち、木材の難燃化に関しては古くから試みがあり、BC700以前は木材を海水に浸漬させる方法、1700年代まではミョウバン水に木材を浸漬させる方法、1800年代は塩化アンモニウム、リン酸アンモニウム、硫酸アンモニウム、ホウ砂などによる方法が検討されている<sup>108)</sup>。

難燃化に関して集中的に研究が為されたのは、1900年代であり、米国農務省林産試験場の一連の研究が最初とされている。Traux, Harrison, Baechler（1935）がリン酸アンモニウム、硫酸アンモニウム、ホウ酸などを木材に含浸し、防火性能を評価した報告を、斉藤（1953）<sup>62)</sup>および石原（1989）<sup>27)</sup>が紹介している。また、Black（1943）の行った、ホウ素アンモニウム塩、硫酸アンモニウム、ホウ酸、スルファミン酸アンモニウム混合液を用いた防火合板の紹介もある<sup>71)</sup>。一方、国内では、森（1950）<sup>119)</sup>は「リン酸二アンモニウム、硫酸アンモニウム、硫酸ナトリウム処理防火木材を12ヶ月屋外で暴露すると防火性能が低下するため、屋外での使用には耐久的な措置が必要である」と報告している。

1960～1970年代では、合板、パーティクルボードなどの防火処理に関する報告<sup>23, 38, 59, 98, 100, 109, 120)</sup>があるが、そのほとんどはリン酸二アンモニウムを主成分とする処理法に関するものである。また、1980年以降、様々な防火処理が検討されている。平田（1981）は、リン

酸水素二アンモニウム, 臭化アンモニウム, スルファミン酸アンモニウム, スルファミン酸グアニジン, ホウ酸, 四ホウ素ナトリウムおよび塩化ナトリウムで処理されたラワン材の表面試験の結果について報告している<sup>8)</sup>。吉野, 柴田 (1989)<sup>134)</sup>, 原田, 谷内, 上杉 (2003)<sup>5)</sup> はポリリン酸カルバメートで処理された難燃化木材を, 伊藤 (1995)<sup>32)</sup> はシリカ系薬剤とリン酸二水素アンモニウムの併用による難燃化処理を報告し, 商品化に成功している。また, 石原 (1981)<sup>26)</sup> はホウ酸-リチウム化合物, 宮藤 (1996)<sup>117)</sup> は  $\text{SiO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , 宮下ら (2000)<sup>115,116)</sup> は  $\gamma$ -メタクリロキシプロピルトリメトキシシランなどの無機物と木材の複合化を試み, その防火性能について報告している。しかし, これらの薬剤処理の多くは, 酸性の水溶液を用いた処理であるため, 材料表面の日焼けによる変色, 材料の吸放湿による薬剤の析出などが問題となっている。これらの問題に関しては塗装などによる耐侯措置が有効であると考ええるが, 防火処理材の塗装に関する報告は見あたらない。

## 第2章 アカマツ材内部への青変菌の伸展と青変拡大

本章では、松くい虫被害材、林内、製材工場貯木場でアカマツ青変材から菌を分離し、原因菌を把握した後、菌糸伸長、青変拡大が顕著な青変菌を用い、菌糸伸長を律速する温度、水分、酸素濃度が青変拡大に与える影響について検討を行った。

### 2.1 アカマツ青変部から分離された青変菌

本実験は既に報告<sup>9,85)</sup>されたものであり、以下その概要を示す。

#### 2.1.1 実験方法

##### 1) 供試材料

本調査は県内12地区で行った。図2.1に供試材料を採取した地区を示す。

松くい虫被害木の青変調査は、2002年および2004年の各年5月～7月、岩手県内の宮守、金ヶ崎、胆沢、平泉、東山、川崎の6地区で行なった。

伐採後林内に放置された丸太の青変調査は、2002-2004年の各年4月に、岩手県内の県央に位置する矢巾、岩手町にあるアカマツ林でそれぞれ行い、各林分から30年生のアカマツを伐採、長さ1mに玉切りし、供試丸太を30-70本(直径60-120mm)調製した。その後、供試丸太を10本ずつ林内に配置し、4-6月の間で調査を行った。

製材工場内の貯木場での青変調査は、2004年4月に岩手県岩手町の林内でアカマツを伐採、長さ1mに玉切りして、供試丸太40本(直径55-105mm)を調製した。その後、大野、岩泉、滝沢、玉山の4地区の製材工場へ供試丸太を運び、各貯木場に10本ずつ配置し、5-8月の間で調査を行った。

なお、調査は、樹皮を鉋で剥がし、樹皮下キクイムシが生息する場合は捕獲した後、青変部位を採取し、キクイムシ、菌は実験室に持ち帰った。

##### 2) 青変菌の分離・同定

持ち帰った青変部位は、山岡の方法<sup>125)</sup>に準拠して、火炎滅菌済みの鉋、彫刻刀を用いて、青変部位から材料片を切り取り、1%麦芽エキス寒天(MA)平板培地へ移植、15℃で3-14日間培養を行った。その後、2% MA 平板培地へ移植し25℃で2~4週間培養し、菌の同定に用いた。また、捕獲されたキクイムシは、野淵の報告<sup>101)</sup>を参考に同定した後、1%麦芽エキス寒天(MA)平板培地へ直接置き、青変部位と同様の操作を行い、菌を分離し、青変菌の同定に用いた。各地区において、

分離された菌の個数を総分離数で割り、分離頻度を算出した。なお、青変菌の同定は山岡らの方法<sup>127)</sup>に準拠して行った。

### 2.1.2 結果と考察

#### 1) 松くい虫被害木の青変

青変部位からはオフィオストマ様菌類が多く分離され、その頻度は36-68%となった。その他に、いわゆる青カビも同時に分離された。このことから、青変は、主としてオフィオストマ様菌類が引き起こしていることが確認された。

#### 2) 伐採後林内に放置された丸太の青変

表2.1に伐採後林内に放置した丸太の青変部位、樹皮下キクイムシから分離された菌類を示す。青変部位からはオフィオストマ様菌類が分離され、その頻度は2-36%であった。特に岩手町で行った結果で、樹皮下キクイムシから分離された菌と、青変部位から分離された菌が一致する傾向が見られた。このことから、青変菌の分布は地域、時期、樹皮下キクイムシの種類で異なることが示唆された。

#### 3) 製材工場貯木場での丸太の青変

オフィオストマ様菌類の分離頻度は11~54%であったが、試験期間中に顕著な青変を呈する供試丸太は、林内に放置した条件に比べて極めて少なく、大野、岩泉地区では青変部位を確保できたが、分離された菌は樹皮下キクイムシから分離された菌と必ずしも一致してはいない。

以上の結果をまとめると、アカマツの青変は、主としてオフィオストマ様菌類により引き起こされ、樹皮

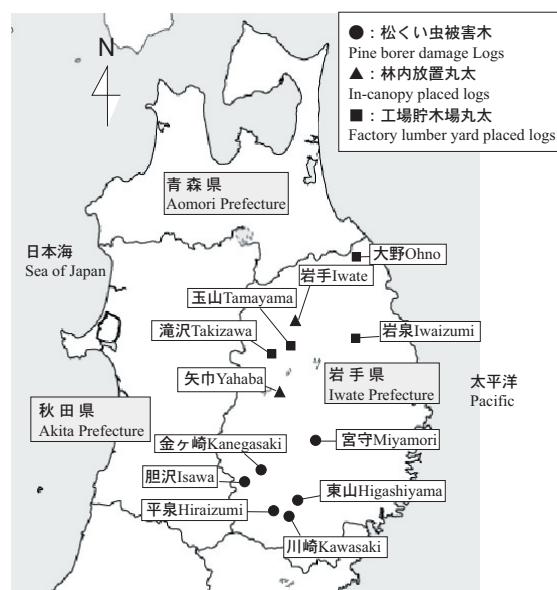


図2.1 供試材料を採取した地区  
Fig.2.1 To collect the material under test district



表2.1 伐採後林内に放置した丸太から分離された菌類  
Table 2.1 Isolated blue-stain fungi from In-canopy placed logs

地区 Sampling location	分離日 Isolation date	分離源 Source	オフィオストマ様菌類 Species of ophiostomatoid fungi	分離頻度(%) Frequency
矢巾 Yahaba	2002.5.31	辺材青変部 Blue-stained sapwood	<i>Leptographium procerum</i>	3
			<i>Ophiostoma</i> spp.	36
岩手 Iwate	2003.5.23	辺材青変部 Blue-stained sapwood	<i>Leptographium koreanum</i>	14
		マツノキクイムシ <i>T.piniperda</i>		
	2003.5.23	キイロコクイムシ <i>Cryphalus fulvus</i>	<i>Ophiostoma piliferum</i>	2
	2003.6.6, 2004.6.29	辺材青変部 Blue-stained sapwood	<i>Ophiostoma ips</i>	15
	マツノムツバクイムシ <i>Ips acuminatus</i>			

下クイムシが被害に関与していることが確認され、アカマツ製材品の青変被害は、伐採後、林内で放置された状態のとき、樹皮下クイムシが穿孔して樹皮下に青変菌を持ち込み、菌が材内部へ伸長したものと考えられるが、貯木場で青変菌を持つ樹皮下クイムシが得られたことから、菌に感染したアカマツ丸太を製材工場の貯木場に置くことも、他の未感染のアカマツ丸太へ青変被害が伝播する可能性があると考ええる。

## 2.2 アカマツ青変現象に及ぼす、温度、水分、酸素濃度の影響

本実験は既に報告<sup>80,82)</sup>されたものであり、以下その概要を示す。

### 2.2.1 実験方法

#### 1) 供試菌

供試菌として *Leptographium wingfieldii*, MAFF410912 (MAFF: Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries Gene bank, 農業生物資源ジーンバンク) を用いた。

#### 2) 温度と菌糸伸長、青変速度

2% MA 培地を調製し、その中央部に供試菌を接種して 0-40°C の範囲で 2 週間培養した。なお、本実験に用いた菌が属するグループ (*Ophiostoma* 科菌類) による材青変の多くは、菌糸自体の色がその原因と考えられる<sup>13)</sup>。よって培地上における菌糸の着色を便宜的に青変とみなした。所定期間培養後、菌糸伸長半径 ( $R_1$ )、青変領域半径 ( $R_2$ ) を測定し、総培養時間 (T) から菌糸伸長速度 ( $V_1 = R_1 / T$ ) と青変速度 ( $V_2 = R_2 / T$ ) を算出した。培養中はシャーレを ParafilmM<sup>R</sup> によってシールした。

#### 3) 水分活性と菌糸伸長、青変速度

水分活性 (Water activity, 以下「Aw」) の影響を調べるため、2% MA 培地にグルコースを 0-50% 添加し、平板培地を調製した。それぞれの培地の各相対湿度における重量変化を測定し、グラフ挿入法により Aw を算出した<sup>66)</sup>。これらの培地に、2) と同様に *L. wingfieldii* を接種し、25°C で所定期間培養後、菌糸伸長速度、青変速度を算出した。

#### 4) 酸素濃度と菌糸伸長、青変速度

2% MA 平板培地に、*L. wingfieldii* を接種し、CO<sub>2</sub>・O<sub>2</sub> インキュベーター (ESPEC 社製 BNR-110M) 内に、窒素を流すことによって酸素濃度を 2, 5, 10 および 20% に調整し、25°C で 7 日間培養後、菌糸伸長速度、青変速度を算出した。

#### 5) アカマツ材中での青変伸展と含水率の関係

アカマツ生材を伐採後、速やかに 30 × 30 × 60mm<sup>3</sup> の生辺材片を 55 個 (乾量基準含水率 150-160%, 全乾比重 0.39) 調製した。含水率 (30-200%) の調整は、滅菌水を無菌的に含浸するか、クリーンベンチ内で送風乾燥により行った。

材片表面をアルコール火炎滅菌し、板目面中央部に *L. wingfieldii* を接種、腰高シャーレに入れて、25°C で最大 20 日間培養した。所定期間ごとに 5 個ずつ取り出して含水率と青変率を測定した。

青変伸展の評価は、材片に占める青変部の体積割合を概算して青変率とした (図 2.2)。また、青変率測定後の試料の含水率を全乾法により求めた。材内において、菌の使用できる酸素量を評価するため、含水率と全乾比重から空隙率を算出<sup>54)</sup>し、大気中の酸素濃度 21% を



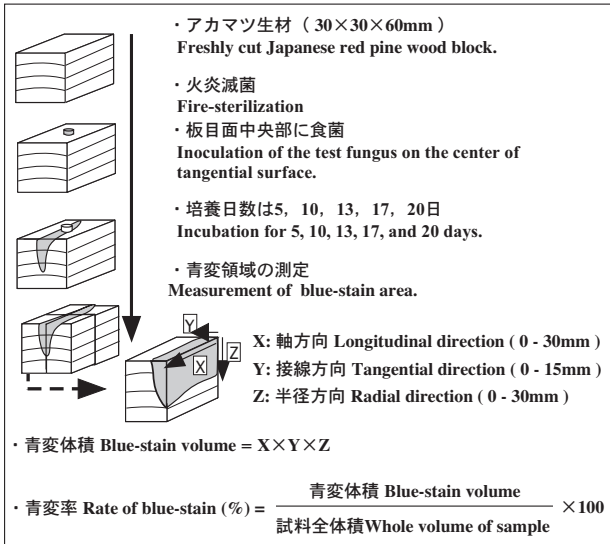


図2.2 青変率の測定, 算出方法  
Fig.2.2. Measurement procedure of rate of blue-stain.

乗じて材内の酸素量を求めた。

### 2.2.2 結果と考察

#### 1) 温度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

温度が菌糸伸長, 青変速度に及ぼす影響を図 2.3 に示す。*L. wingfieldii* の菌糸伸長速度は培養温度の上昇に伴い緩やかに増加し, 25°Cで 0.28mm/hr とピークを示した。また, 青変は, 15-25°Cで観察され, 菌糸伸長と同様に 25°Cでピークを示した。このような低温域で菌糸伸長, 青変拡大が抑制される結果は, 青変被害を回避するためにアカマツ材の伐出が主に冬期に行われることを支持する。

また, 菌糸の培養状況を観察すると, 培養初期の菌糸は培養初期には無色であり, その後, 変色域は経時的に拡大した。このことは, アカマツ材の青変が起こる前に, すでに無色の菌糸が材内に展開していることを示す。

#### 2) 水分活性が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

Aw (水分活性) は, 物質中の水分の存在状態をあらわし, 食品の保存性を示す指標に用いられ, 糖類, 塩分などの溶質量を増加させると Aw が低下, すなわち成長が抑制されることが知られている<sup>133)</sup>。そこで Aw を低下させるため, 寒天培地にグルコースを添加し, 菌糸伸長, 青変速度に及ぼす影響を検討した。*L. wingfieldii* の菌糸伸長は, グルコース濃度 0%の時 0.28mm/hr と最高値を示し, その濃度の増加に伴い菌糸伸長速度は減少し, グルコース濃度 50%で菌糸伸長は停止した。青変速度も菌糸伸長と同様の傾向を示した。

青変と含水率との関係を検討する場合, 従来は材全体の平均含水率を指標として論じられてきた<sup>44,91,104)</sup>が,

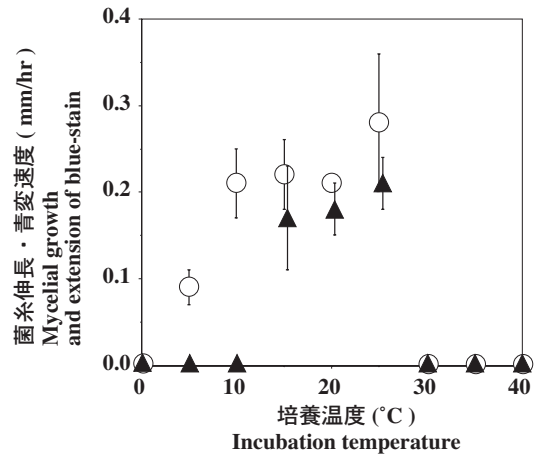


図2.3 2%MA培養時, 培養温度が*L. wingfieldii*の菌糸伸長 (○), 青変 (▲)へ及ぼす影響

Fig.2.3. Effects of incubation temperatures on mycelial growth of *Leptographium wingfieldii* (○) and extension of blue-stain area (▲) on 2%MA plates.

凡例: バーは標準偏差 (以下同様)

Legend: Bars mean standard deviations (the following is the same).

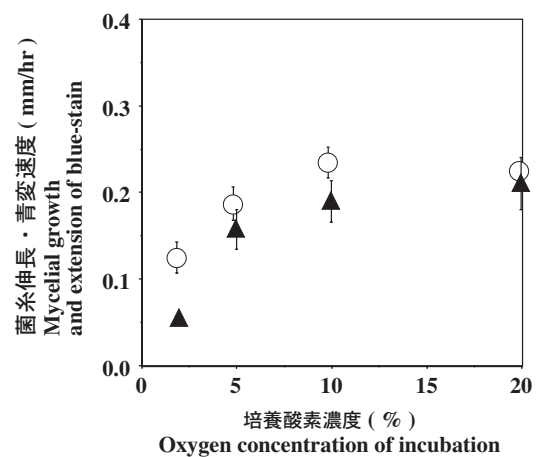


図2.4 2%MA, 25°C培養時, 酸素濃度が*L. wingfieldii*の菌糸伸長 (○), 青変 (▲)へ及ぼす影響

Fig.2.4. Effects of oxygen concentration on mycelial growth of *Leptographium wingfieldii* (○) and extension of blue-stain area (▲) on 2%MA plates incubated at 25°C.

この指標では菌糸と基質との界面における水分の影響は明確にはならない。今回の実験において, グルコース添加量の増加を Aw の低下とみなすと, 乾燥材が青変しないのは, 菌糸が生育できないためといえる。

#### 3) 酸素濃度が菌糸伸長・青変速度に及ぼす影響

酸素濃度が *L. wingfieldii* の菌糸伸長, 青変速度に及ぼす影響を図 2.4 に示す。ここでは培養温度 25°C, 培地添加グルコース濃度 0%の至適条件下での結果を示した。菌糸伸長速度は酸素濃度 5%で減少を始め, 酸素濃

度2%で0.12mm/hrとなった。青変速度も菌糸伸長と同様の傾向を示したが、酸素濃度が低下するほど変色はより抑制され、酸素濃度2%で0.06mm/hrと著しく減少した。このことから、高含水率材が時間経過に伴い青変する現象は、含水率低下による空隙の形成により、菌糸と基質との界面で酸素の供給が可能になるためと考えられる。

4) アカマツ材を用いた際の青変伸展の経時的変化

*L. wingfieldii* をアカマツ材に接種し、材の青変を経時的に観察した結果を図2.5に示す。5日後には材内部が軽微に青変し、7-11日後までは徐々に青変が進行して、その割合は6-9%となった。その後、14日後に青変率は急激に増加した。このことから、菌が材に付着後、至適条件下では最短2週間で青変被害が観察されることを示唆する。

5) 含水率が青変発生・伸展に及ぼす影響

初期含水率および20日後含水率が50%以下では青変率はすべて0%となるが、初期含水率が50-100%の範囲では、初期含水率の上昇に伴って、青変率の高い試料の出現率が増加する傾向が窺えるが、バラツキが大きかった。初期含水率150%以上の範囲では全ての試料が高い青変率となった。

菌接種時後の含水率の変化と青変率の関係は本実験の範囲では明らかにはされなかったが、以上の実験結果は、少なくとも初期または20日後の木材含水率と青変伸展に大きく寄与しているものであり、菌糸の日齢ではないことを示しているものと考えられる。

6) 青変伸展における含水率と酸素の影響

前述した5)の結果から、初期含水率の低下は青変伸展を律速することに寄与し、青変が顕著なのは初期含水率が150%以上の試料であった。この含水率域では含水率が低下しても、菌の生育に十分な水分は確保されていると考えられる。したがって、含水率の低下による青変伸長は、材中の空隙の増加に伴い菌が使用できる酸素が増加するためと予想される。図2.6に初期含水率150-180%の試料について、接種後5-20日間経過したアカマツ材内の酸素増加量と青変率の関係を示す。初期含水率によらず、材内の酸素量が増加するに伴い、青変率は比例的に増加し、材内酸素量が2~3%で青変率は100%となった。このことは、図2.4に示される寒天培地上で行った実験で酸素濃度が5%から2%へ減少すると青変速度が著しく抑制された結果とよく一致する。以上より、初期含水率150-180%では、含水率低下に伴う材内の酸素量の増加が青変伸展に影響していることが示唆された。

また、初期含水率50%以上で青変率がばらつき、初期含水率と青変率の関係が不明瞭であったのは、含水率が木材全体の平均水分量を示す値であるので、菌糸と基質界面における水分、酸素の影響を詳細に反映できなかつたためと考える。

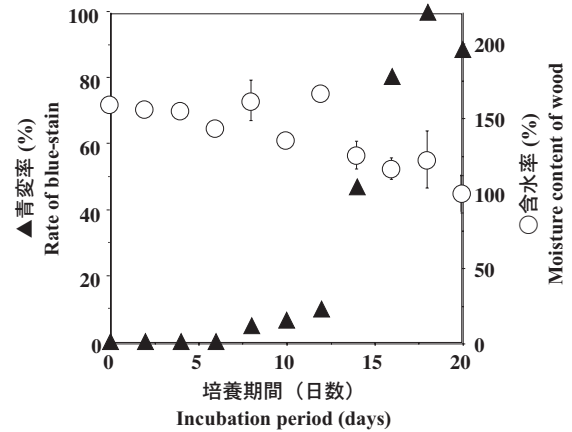


図2.5 アカマツ材へ *Leptographium wingfieldii* を接種培養した際の培養日数による青変率, 含水率の変化

Fig.2.5. Changes in rate of blue-stain and moisture content of Japanese red pine wood incubated with *L. wingfieldii* at 25°C.

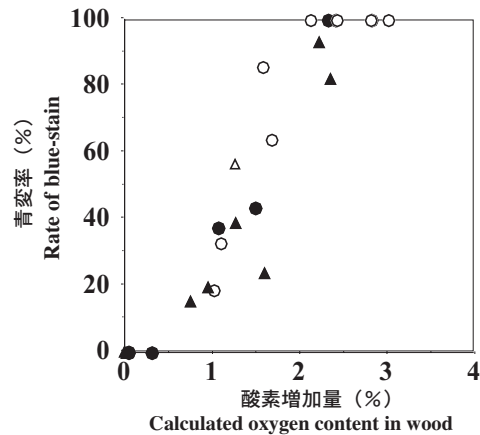


図2.6 *L. wingfieldii* をアカマツ材へ接種し、25°C, 5~20日間培養した際の酸素増加量と青変率の関係

Fig.2.6. Relationships between calculated oxygen content and rate of blue-stain of wood block incubated with *Leptographium wingfieldii* for 5 to 20 days at 25°C.

Legend: Initial moisture content is ●: more than 180%, ○: 170% to 180%, ▲: 160% to 170%, △: 150% to 160%.

### 第3章 合理的な青変被害防止の試み

本章では、木材への菌の付着抑制による青変防止方法として、伐採直後のアカマツ丸太への防虫剤、防カビ剤の散布、伐採時期の影響、散布する薬剤の種類、濃度についての検討を行った。また、防虫ネット、粉碎スギ樹皮およびスギ葉などを用い、物理的な被覆を行った際の青変防止効果の検討結果について述べる。

#### 3.1 林地におけるアカマツ丸太の青変に対する防虫剤と防カビ剤の効果

本実験は既に報告<sup>81,88)</sup>されたものであり、以下その概要を示す。

##### 3.1.1 実験方法

###### 1) 供試材料

2002年5月に岩手県岩手郡岩手町の約30年生のアカマツ林内でアカマツを30本伐採し、長さ1m、直径8-15cmの供試丸太を120本調製した。

###### 2) 薬剤および処理方法

防カビ剤として(株)サイエンス社製プレザリンBAM(主成分:ベンゾチアゾール, メチレンビスチオシアネート)を、防虫剤には同社製サンプレザーWEL(主成分:エトフェンプロックス)を、それぞれ30倍(有効成分量6.7g/L), 50倍(有効成分量6.0g/L)に水で希釈して用いた。

処理は防カビ処理, 防虫処理, 防カビ・防虫処理併用の3条件とし、各条件について丸太30本を供試した。散布量はいずれも0.5L/本である。丸太は、条件ごとに3等分し10本ずつ同林内に暴露環境が偏らないよう山積みした。なお、比較のため無処理区も上記同様に設定した。

###### 3) 処理効果の評価

供試丸太の青変および寄生するキクイムシ類などの調査は2002年5-9月に行った。伐採から概ね2週間ごとに、各処理区から任意に3本選んで、木口の青変度合いを目視で評価した。また、木口面以外の樹皮下の材面(以下、材面)については剥皮し、穿孔しているキクイムシを捕獲し、捕獲頭数、食痕数(穿孔痕, 交尾室, 母孔の数), 青変箇所数を測定した。

捕獲したキクイムシは実験室へ持ち帰り、実体顕微鏡下で観察して同定<sup>101)</sup>した。青変として数えた箇所は内樹皮と形成層を

鉋で削った際に、辺材部が青変している部分である。青変が複数の食痕に重なっている場合にはその食痕数を青変数とした。また、丸太1本当たりにおいて、食痕数、青変数が30箇所以上の場合、食痕、青変は全面に拡大していたため、それらの測定は30箇所を上限とした。

測定したキクイムシ捕獲頭数, 食痕数, 青変箇所数はそれぞれの丸太の直径, 長さを求めて算出した単位表面積当たりの数(1m<sup>2</sup>当たりの数)とした。

#### 3.1.2 結果と考察

##### 1) 無処理区の青変の推移

木口面の青変は、伐採から42日後に辺材部表面に緑色の糸状菌が観察され、74日後には辺材部, 心材部表面は黒変し、木口表面から材内部にかけて3-5mm程度の黒, 緑, 褐色の変色が木口辺材部全面に観察された。

材面における経過時間と樹皮下キクイムシ類の食痕数, 虫捕獲頭数および青変箇所数の関係, 樹皮下キクイムシの頭数をそれぞれ表3.1, 3.2に示す。また、写真3.1に材面におけるキクイムシの食痕, 青変の様子を、写真3.2に樹皮下キクイムシを示す。樹皮下キクイムシの食痕は、伐採から14日後に観察され、食痕の規模, 数は時間の経過とともに拡大, 増加し、57日後には食痕が材全面に観察された。一方、材面の青変は伐採か

表3.1 無処理区の材面における経過時間と青変箇所数、食痕数と虫捕獲数の関係

Table 3.1 Relationships among storage period, number of caught bark beetle, gallery system and blue-stain on sapwood surface of untreated logs

経過日数 Storage period (day)	虫捕獲頭数 Caught bark beetle (Number/m <sup>2</sup> )	食痕数 Gallery system (Number/m <sup>2</sup> )	青変箇所数 Blue-stain (Number/m <sup>2</sup> )
	Min.-A.V.-Max.*	Min.-A.V.-Max.	Min.-A.V.-Max.
0	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0
14	3 - 38 - 108	6 - 17 - 38	0 - 0 - 0
28	3 - 56 - 130	13 - 32 - 61	0 - 2 - 6
42	107 - 185 - 282	64 - 109 - 159	0 - 46 - 74
57	38 - 116 - 163	53 - 93 - 119	8 - 78 - 119
74	25 - 111 - 267	87 - 109 - 121	16 - 74 - 119
85	- - -**	80 - 95 - 119	80 - 95 - 119
106	- - -	87 - 96 - 106	87 - 96 - 106

\* Min.-A.V.-Max.: 最小値-平均値-最大値

Min.-A.V.-Max.: Minimum - Average - Maximum of blue-stain index

\*\*未調査

Not researched

表3.2 無処理区におけるキクイムシの頭数(頭/m<sup>2</sup>)

Table 3.2 Number of bark beetles caught from untreated logs (Number/m<sup>2</sup>)

経過日数 Storage period (day)	マツノキクイムシ ( <i>Blastophagus piniperda</i> )	マツノムツバ キクイムシ ( <i>Ips acuminatus</i> )	キイロコ キクイムシ ( <i>Cryphalus fulvus</i> )	その他 Other sp.
	Min.-A.V.-Max.*	Min.-A.V.-Max.	Min.-A.V.-Max.	Min.-A.V.-Max.
0	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0
14	0 - 3 - 6	0 - 35 - 102	0 - 0 - 0	0 - 0 - 0
28	0 - 0 - 0	3 - 53 - 122	0 - 3 - 9	0 - 0 - 0
42	0 - 0 - 0	104 - 171 - 261	0 - 12 - 21	0 - 1 - 4
57	0 - 0 - 0	38 - 98 - 145	0 - 0 - 0	0 - 18 - 36
74	0 - 0 - 0	25 - 103 - 243	0 - 0 - 0	0 - 8 - 24

\* Min.-A.V.-Max.: 表3.1参照

Min.-A.V.-Max.: See Table 3.1



ら28日後に発生したが、初期には食痕及びその周辺の辺材部の直径1-2cmの青変が観察されるのみであった。時間経過に伴い増加、拡大した食痕に沿って青変が連なり、85日後には丸太の材面全体に95個/m<sup>2</sup>の青変が観察された。42日後の丸太中央断面では、材表面から深さ3-5cmのくさび形の青変(写真3.3)が観察された。

これらのことから、材面の青変は、樹皮下キクイムシの穿孔が基点となり菌糸が材内へ伸展していくことと、樹皮下キクイムシの食痕が材面に拡大しその基点が拡大することが主要因であると考えられる。

青変被害に関与する菌の材への侵入経路には、木口面での直接接触、樹皮面からのキクイムシ類の穿孔に伴う接触の2つがあるとされている<sup>95)</sup>。本実験における木口、材面の青変状況の観察では後者による場合が圧倒的に多いという結果になった。

## 2) 防カビ処理の青変防止効果

木口面では、調査期間中(106日間)に青変が全く観察されなかった。このことは、硫酸銅水溶液<sup>45)</sup>あるいはPCPを用いた<sup>52)</sup>場合と同様に処理効果は完全であると判断できた。したがって、防カビ成分を有する薬剤を木口へ散布することは木口面の変色に対し、きわめて有効な手段であることが確認された。

材面における伐採からの経過時間と樹皮下キクイムシ類の食痕数、虫捕獲頭数および青変箇所数の関係、捕獲されたキクイムシの種類は無処理区と同様であった。これまで、材面から侵入し青変被害の要因となるキクイムシとして養菌穿孔虫(ambrosia beetle)<sup>95)</sup>や樹皮下キクイムシ(bark beetle)<sup>128)</sup>があげられているが、本実験では樹皮下キクイムシ(bark beetle)の穿孔が主であった。このことは慶野が東京都内林業試験場浅川試験林で2-9月に行った実験<sup>52)</sup>と一致する。

これらのことから、防カビ処理では材面のキクイムシの穿孔を止めることは出来ず、樹皮下の青変を阻止できないことが明らかとなった。

## 3) 防虫処理の青変防止効果

防虫処理区の木口面は、無処理区と同様の結果となった。防虫剤よりも防カビ剤が木口の変色抑制に大きく寄与していることから、木口面の変色はキクイムシなどの昆虫による菌の伝搬よりも、他の理由で木口面へ菌が付着することに起因していると考えられる。

防虫処理区の材面において、伐採からの経過時間と樹皮下キクイムシ類の食痕数、虫捕獲頭数および青変箇所数の関係を調べた結果、42日後まで食痕は観察されず、57日後以降でも食痕数が数個/m<sup>2</sup>であった。また、青変も42日後まで観察されず、106日後でも15個

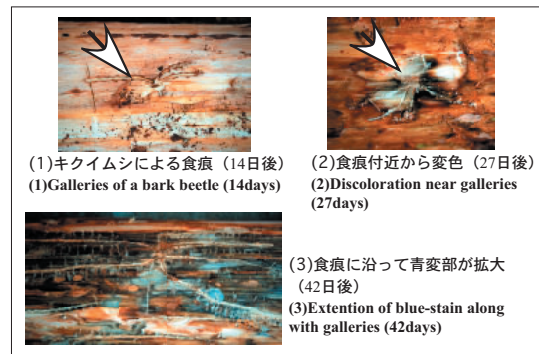


写真3.1 材面におけるキクイムシの食痕、青変の拡大の様子

Photo 3.1 Extentions of blue-stains and of galleries of bark beetles on sapwood surfaces

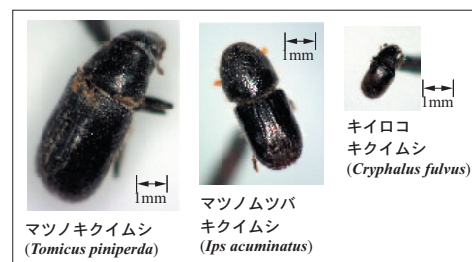


写真3.2 アカマツ丸太から捕獲されたキクイムシ類

Photo 3.2 Bark beetles caught from Akamatsu logs

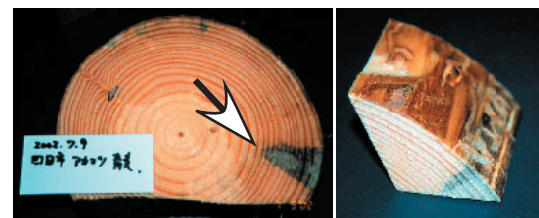


写真3.3 丸太断面の青変(42日後)

Photo 3.3 A blue-stain of a log section(42days)

/m<sup>2</sup>であった。これらの青変は、すべて木口付近の樹皮が脱落した部位で白色の菌糸と混合して観察された。

これらのことから、防虫処理は材面におけるキクイムシの活動を制御し、穿孔を防止することにより青変を抑制するが、時間の経過に伴い木口付近の樹皮が脱落した部位に青変が発生することが明らかとなった。このことは、樹皮下キクイムシの穿孔が材面の青変発生の主要因であることを支持する。

## 4) 防カビ・防虫処理併用の青変防止効果

防カビ・防虫処理併用区の木口面は、防カビ処理区と同様に青変は観察されず、材面の状況は防虫処理区と同様に推移し、食痕、青変はほとんど観察されなかった。本実験において、現存する薬剤のうち、人畜に対し低毒で、変色菌へ効果が高いベンズチアズール、メ



チレンビスチオシアネート, キクイムシ類に有効なエトフェンプロックスを用いても同様の効果が得られることが示され, さらに青変菌とその媒介者であるキクイムシ類の丸太への侵入の経時変化が明らかとなった。なお, 本実験で用いた防カビ剤, プレザリン BAM は実験室的には日本木材保存協会規格第 2 号「木材用防カビ剤の防かび効力試験方法」で供試される *Aspergillus*, *Aureobasidium* など 5 種のカビに効果があるとされている<sup>102)</sup> が, 森林内で感染する能力を持つ青変菌にも効果を持つことが明らかになった。

### 3.2 季節別の青変挙動と防虫剤と防カビ剤の青変防止効果

アカマツを通年で出荷するとなれば, 通年の伐採による樹皮下キクイムシの穿孔, 青変挙動, 薬剤散布の有効性を把握する必要がある。しかし, アカマツを通年で伐採し, 発生する青変被害について調査を行った例は無く, 地域, 季節(気温)により加害するキクイムシ<sup>37, 65)</sup> と関与する青変菌の種類<sup>6, 15)</sup> が異なることが知られているのみである。

本節では, 季節別にアカマツを伐採し, 青変の挙動を調査するとともに, 防カビ剤と防虫剤を丸太に散布したときの青変防止効果について検討を行った。

なお, 本実験は既に報告<sup>4, 85)</sup> されたものに補筆を行ったものである。

#### 3.2.1 実験方法

##### 1) 試験地, 試験期間および材料

2002 年 12 月 - 2003 年 6 月 (冬期), 2003 年 4 - 7 月 (春期), 同年 7 - 10 月 (夏期), 同年 9 - 12 月 (秋期) に岩手県岩手郡岩手町にある約 30 年生のアカマツ林内でアカマツを 50 - 70 本伐採し, 長さ 1 m, 直径 6 - 15 cm の供試丸太を, 伐採の時期別に 280 本調製した。

##### 2) 薬剤と処理方法

3.1.1 の 2) と全く同様の方法を用いて行った。

##### 3) 処理効果の評価

供試丸太の青変および寄生するキクイムシ類などの調査は伐採から 2 週間ごとに 14 週間まで 7 回行った。まず, 各処理区から無作為に 10 本選び, そのうち木口が青変した本数を測定した。また, 木口面以外の樹皮下の材面 (以下, 材面) については 3.1.2 の 3) と全く同様の方法を用いて行った。

#### 3.2.2 結果と考察

図 3.1 に伐採時期と各条件が木口青変, 材面樹皮下の虫害および青変へ与える影響を示す。なお, 図の被害個数 (左側の Y 軸) は 100 個/㎡を上限とした。以下

に各処理について, 伐採時期別に青変挙動, 青変防止効果について記述した。

#### 1) 無処理区の伐採時期別の青変挙動

##### (a) 冬期伐採

伐採から 78 日後 (12 - 2 月下旬) までは, 木口, 材面に虫害, 青変は観察されなかったが, 106 日後 (3 月下旬) には木口面に青変が観察されはじめ, 122 日後 (4 月上旬) には全ての供試丸太の木口に青変が観察された。一方, 材面は 122 日後に 3 個/㎡の樹皮下キクイムシによる穿孔 (以下, 虫害) が観察されはじめ, 150 日後 (5 月上旬) には虫害が 36 個/㎡となり, 虫害箇所に沿い 2 個/㎡の青変が観察された。時間の経過とともに材面の虫害, 青変は急激に増加し, 178 日後 (6 月上旬) には 74 個/㎡の虫害が観察され, 材全面に青変が拡大した。このことから, 冬期伐採では 3 月下旬までは青変被害が無く, 春期に樹皮下キクイムシが穿孔することに伴い, 青変が発生することが明らかとなった。

##### (b) 春期伐採

伐採から 29 日後に木口面で軽微な青変が観察され, 85 日後には全ての供試丸太木口面で青変が観察された。一方, 材面では伐採から 15 日後には 2 個/㎡の虫害が観察され, 29 日後には 14 個/㎡の虫害とその周辺に 2 個/㎡の軽微な青変が観察された。57 日後には青変箇所数が 64 個/㎡と急増し, 材面の虫害箇所に沿って青変が連なり, 材面の半分以上を占めた。その後, 時間経過とともに虫害, 青変の箇所数, 規模は拡大し, 85 日後には観察した全丸太で, 材面全体に展開された虫害 (164 個/㎡), 青変 (163 個/㎡) が観察された。春期と冬期の伐採における材面の虫害, 青変およびその拡大の時期はほぼ一致し, 4 月上旬からとなっている。このことから, 材面の青変拡大は樹皮下キクイムシによる虫害の増加, 拡大が主要因である。

##### (c) 夏期伐採

伐採から 39 日後には全ての供試丸太木口面で青変が観察され, 木口から樹皮と辺材部の間にかけて白色の菌糸が展開し, 一部樹皮が剥落し, 木口付近の材面に青変, 褐変が拡大しているのが観察された。一方, 材面では伐採から 11 日後に 21 個/㎡の虫害が観察され, 39 日後には 50 個/㎡の虫害, 3 個/㎡の青変が観察された。また, 52 日後には材全面に虫害 (106 個/㎡) および青変 (64 個/㎡) が拡大した。春期と比べ夏期の材面虫害は短期間で観察され, 材面へ展開する菌も青変菌類以外のものが複数観察された。このことは, 気温の上昇による樹皮下キクイムシの活性化, 菌類の菌糸伸長速度の増大などが要因であると考えられる。

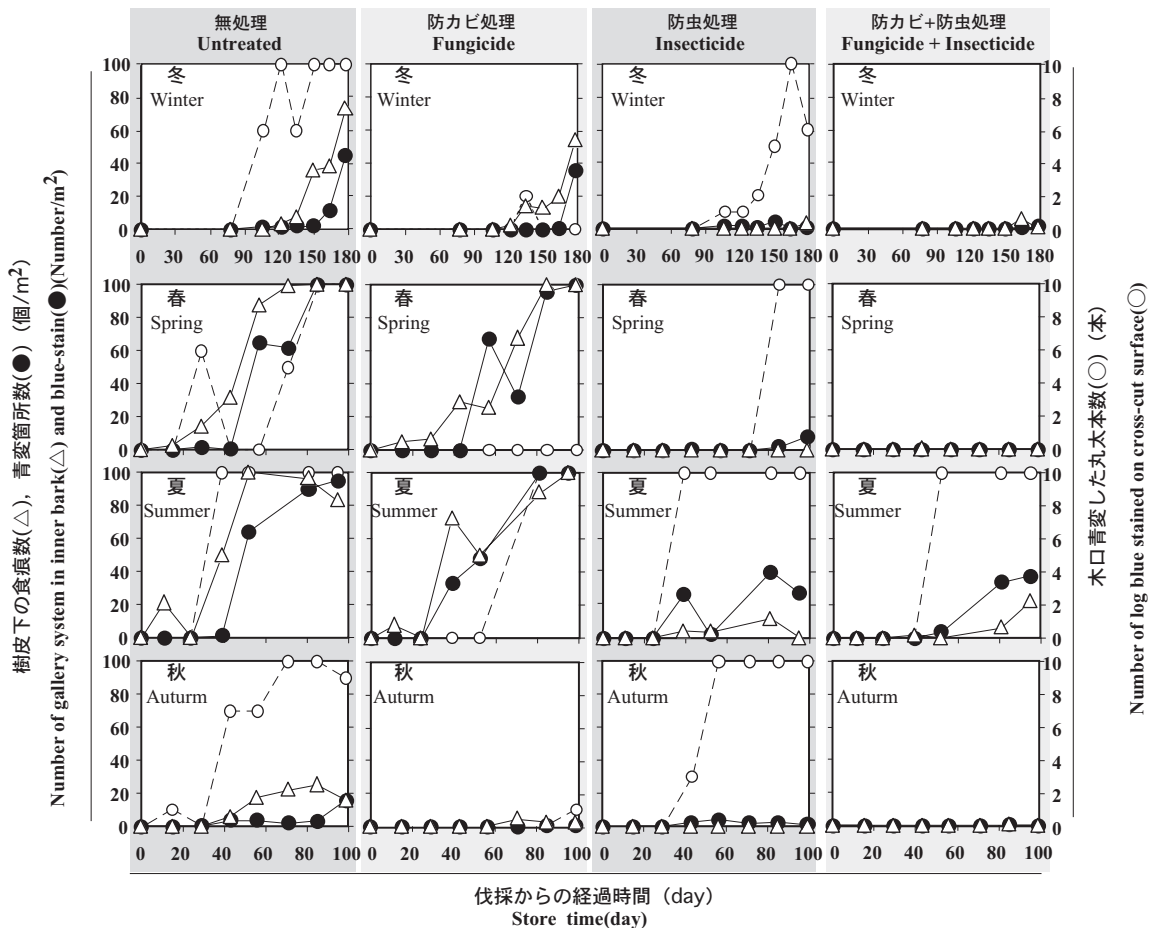


図3.1 伐期と薬剤処理が樹皮下の食痕、青変および木口青変へ及ぼす影響  
 Fig. 3.1 The time course of numbers of blue-stain and gallery system.

(d) 秋期伐採

伐採から43日後に木口面の多くに青変が観察された。また、99日後に虫害が観察されたが、数は少なく青変も軽微であった。試験期間中、虫害箇所からキクイムシ類を捕獲することはできなかった。

2) 防カビ処理区の伐採時期別の青変挙動

防カビ処理は夏期を除いて木口の青変を抑制したが、夏期では伐採から52日後に木口に青変が観察された。夏期の木口青変の抑制が持続できなかったのは、薬剤が降雨、日射により流脱、分解されたためと考える。

また、通年で材面の虫害はにを止めることは出来ず、樹皮下の青変を阻止できなかった。このことは、防カビ剤が木口面での菌糸伸長を抑制するが、樹皮下での穿孔虫による菌の伝搬、菌糸伸長を抑制することができなかったためと考える。

3) 防虫処理区の伐採時期別の青変挙動

防虫処理は通年で無処理区に比べて材面の虫害、青変を抑制したが、木口の変色を抑制できなかった。また、伐採時に樹皮が剥落した部位には虫害に起因しない軽微な青変が春、夏、秋期に観察された。さらに、夏期

では伐採から39日後以降に4個/m<sup>2</sup>の虫害が観察され、木口面の材縁部に白色菌糸、黒色菌糸が展開し、内樹皮に菌糸が進入して樹皮を持ち上げ、一部樹皮が剥落し、材面に青変が拡大しているのが観察された。

このことは、防虫剤が樹皮下へのキクイムシの穿孔を抑制することにより菌の伝搬を防止できたが、木口面への菌の付着および菌糸伸長は抑制できなかったためと考えられ、夏期に観察される木口面材縁部から内樹皮への菌糸伸長を抑制するためには、防カビ材の併用が必要であると考え。また、夏期の材面虫害の抑制が持続できなかったのは、防カビ処理と同様の理由であると考え。

4) 防カビ・防虫処理区の伐採時期別の青変挙動

防カビ・防虫処理は通年で木口および材面の虫害、青変を抑制したが、夏期の輪生節付近での軽微な青変、木口の青変を完全には抑制できなかった。輪生節付近での青変に関しては、立木の段階で枝が枯死し、すでにキクイムシの穿孔<sup>37,60)</sup>、青変菌の侵入があり、枝部での青変が進行し、樹幹の輪生節付近の材内部に菌が滞在している状態で伐採、薬剤散布を行ったため、薬

剤の効果が反映できなかったものと推測される。

経験的に見て、林地のアカマツ青変は、9月から2月までの秋、冬期にはほとんど発生せず、春、夏期に集中して発生しているが、以上の結果から、その主因はキクイムシの穿孔に伴う菌の伝搬であり、春、夏期に青変が急増するのはキクイムシ類の産卵期が重なっているためであると考えられる。薬剤を用いて青変防止をするには前節と同様に、木口面の青変は防カビ剤で菌の生育を抑制し、材面の青変は防虫剤によりキクイムシの穿孔を抑制することが有効であった。

なお、秋、冬期には青変被害はほとんど無く、また、春、夏期においても伐採後4週間までは、キクイムシの穿孔は多数観察されるが、顕著な青変は観察されていない。したがって、もし伐採後4週間以内に製材し、十分な乾燥材が生産できるのであれば、薬剤を用いることなく青変のないアカマツ材が供給可能となるともいえる。しかし、現状ではそのようなシステムは難しいため、薬剤処理による青変防止は不可欠と考える。

### 3.3 有効成分の異なる12種類の市販防虫剤、防カビ剤を用いた薬剤処理試験

本章の第1, 2節の実験により、伐採直後に防虫剤と防カビ剤を散布することは、青変防止に有効な手段となることが明らかとなった。この技術を現場で活用するためには次のことを考慮しなければならない。

- (1) 青変の防止度合いは、丸太の用途により異なる
- (2) 用途に応じた、薬剤の選択、処理コストの設定

したがって、複数の薬剤について、青変防止効果の検証とコストの算出が必要となる。通常用いる薬剤は、目的とする病虫害に対し、最適の効果が発現するよう異なる成分で構成されている<sup>34)</sup>。青変を含む不完全菌類による製材品の汚染に対する防カビ剤散布の試験については、いくつか報告<sup>2,3,104,111)</sup>があるが、伐採直後に林内で様々な薬剤を散布した例は少なく、コストに関しての報告も見あたらない。これまで青変防止の薬剤散布試験がほとんど行われていなかったのは、主に穿孔性の昆虫を媒介として青変が発生するにもかかわらず、青変被害は不完全菌類によって引き起こされるとして扱われ、薬剤の効果検証は、実験室上で菌のみを対称として行われてきたこと<sup>33,99)</sup>、青変の生ずるメカニズムを前提した薬剤効果の検証方法が開発されていなかったことが要因であると考えられる。本章の第1, 2節で考案した青変被害の伝搬形態を踏まえた処理方法、その調査方法を用いることにより、青変被害に対しての薬剤の効果の検証が可能となる。

本節では、市販薬剤で青変防止を行う際、薬剤使用量、薬剤コストが最小になる条件を明らかにするため、伐採直後の林内で、有効成分の異なる12種類の防虫剤、防カビ剤を用いた薬剤処理試験を実施した。

なお、本実験は既に報告<sup>84,86)</sup>されたものに補筆を行ったものである。

#### 3.3.1 実験方法

##### 1) 試験地、試験期間および材料

岩手県岩手郡岩手町にある約30年生のアカマツ林内で、2003年5-7月、2004年6-8月、に試験を行った。同林内のアカマツを伐採、直ちに長さ1mに玉切りし、直径6-15cmの丸太を調製し、以下に示す各条件について5-10本を供試した。

##### 2) 供試薬剤と処理方法

防虫剤として(株)ザイエンス社製サンプレザー WEL、サンケイ化学(株)製サンケイスマイパイン乳剤、東京ファインケミカル(株)製ファインケム PS 乳剤、住友化学工業(株)製スマイパイン MC (マイクロカプセル製剤)、大日本インキ化学工業(株)製ベスタック P 乳剤 (主成分: ピフェントリン) を水で所定濃度に希釈して用いた。

防カビ剤として、(株)ザイエンス社製プレザリン BAM、日産化学工業(株)製日産オーソサイド水和剤 80、日本曹達(株)製トップジン M 水和剤、日産化学工業(株)製日産マンネブダイセン M 水和材、大日本インキ化学工業(株)製ミルカット-90、大日本インキ化学工業(株)製ミルカット-120 を水で所定濃度に希釈して用いた。

また、カーバム燻蒸剤として、ヤシマ産業(株)製ヤシマ NCS を用いた。なお、各薬剤の主成分等は表 3.3 に示す。また、製剤名は一般名を用いた。

薬剤の処理条件について、供試した薬剤の濃度、有効成分含有量、供試丸太本数を処理区ごとに表 3.4 に示す。薬剤散布は防カビ処理、防虫処理および防カビ・防虫処理では、それぞれの薬剤を 0.5L/本ずつ丸太全面に出来るだけ均一に散布した。また、くん蒸処理では、丸太をビニールで被覆後、穴を開け、内部の空間 1 m<sup>3</sup>当たり 0.5kg の薬剤を使用し、密閉状態を 7 日間保持した後、ビニールは撤去した。薬剤処理の後、丸太は、条件ごとに 5-10 本ずつ同林内に暴露環境が偏らないよう山積みした。なお、比較のため無処理区も同様に設定した。

##### 3) 調査方法

供試丸太の青変および寄生するキクイムシ類などの調査は伐採から1ヶ月間経過後に行った。各処理区の丸太について、木口が青変した本数を測定した。また、材面については 3.1.1 の 3) と同様の方法で調査を行っ

表3.3 供試薬剤

Table3.3 Served reagent preparation

項目 Items	N.O	一般名あるいは商品名 Generic or brand name	有効成分 Active principle	備考 Remark
防虫剤 Insecticide	1	エトフェンプロックス Ethofenprox	2-(4-ethoxyphenyl)-2-methylpropyl-3-phenoxybenzyl ether	合成ピレスロイド製剤 Preparation synthetic pyrethroid
	2	ビフェントリン BIFENTORIN	(2-methyl [1,1-biphenyl]-3-yl)methyl 3-(2-chloro-3,3,3-trifluoro-1-propenyl)-2,2-dimethylcyclopropanecarboxylate	同上 Ditto
	3	スミバイン Pine Su-mi	O,O-diethyl-O-(3-methyl-2-nitrophenyl) thiophosphate	フェニトロチオン Fenitrothion
	4	スミチオン SUMICHION	同上 Ditto	同上 Ditto
	5	スミバインMC Su-mi Pine MC	同上 Ditto	フェニトロチオンマイクロカプセル製剤 Fenitrothion, Microencapsulation preparation
防カビ剤 Fungicide	6	プレザリンBAM BAM PUREZARIN	2-(thiocyanomethylthio) benzothiazole, methylenebisthiocyanate	水和剤 Wettable powder
	7	トップジン Top-jin	1,2-bis(3-methoxycarbonyl-2-thioureido) benzene	ベンゾイミダゾール系殺菌剤, 水和剤 benzimidazole, Wettable powder
	8	オーソサイド OSOSAIDO	N-trichloromethylthiotetrahydrophthalimide	キャプタン水和剤 Captan wettable powder
	9	マンネブ Maneb	Manganese ethylenebiszithiocarbamate	有機硫黄殺菌剤, 水和剤 Organic sulfur fungicide, Wettable powder
	10	ミルカット90 Mill cuts 90	Iodine series of organic compounds, Organic sulfur-nitrogen compound	乳剤 Emulsion
	11	ミルカット120 Mill cuts 120	Organic sulfur-nitrogen compound, Organic nitrogen compound system	水和剤 Wettable powder
くん蒸処理 Fumigation treatment	12	ヤシマNCS YASHIMA NCS	N-methylzithio ammonium carbamate	カーバム燻蒸剤 Carbamate fumigant

表3.4 処理条件

Table3.4 Treated conditions

処理 Treatment	N.O	使用薬剤 Used chemicals	濃度(倍) Conc.(times)	丸太本数 Log number
無処理 Cont.		—	—	35
防虫剤 Insecticide	1	エトフェンプロックス Ethofenprox	50,100,200,500,1000	各10 (each 10)
	3	スミバイン Pine Su-mi	25,50,100,200,500	各5 (each 5)
	5	スミバインMC Su-mi Pine MC	5,25,50,100,800	各5 (each 5)
防カビ剤 Fungicide	6	プレザリンBAM BAM PUREZARIN	30,100,200,500,1000	各10 (each 10)
	7	トップジン Top-jin	100	5
	8	オーソサイド OSOSAIDO	100	5
	9	マンネブ Maneb	100	5
防カビ剤+防虫剤 Insecticide+Fungicide	1+6	プレザリンBAM+エトフェン プロックス Ethofenprox+BAM PUREZARIN	30+50,100,200,500,1000	各10 (each 10)
	2+10+11	ミルカット90+ミルカット120 +ビフェントリン BIFENTORIN+Mill cuts 90+120	100	5
	4+10+11	ミルカット90+ミルカット120 +スミチオン SUMICHION+Mill cuts 90+120	防カビ剤は100, 防虫剤は20 Fungicide-100, Insecticide-20	5
	くん蒸 Fumigation	12	ヤシマ NCS YASHIMA NCS	(0.5kg/m <sup>3</sup> )



た。ただし、材面の虫害、青変評価は被害箇所数の平均を求め、丸太1m当たりの被害個数とした。

4) 薬剤処理コストの試算

各薬剤の処理コストの試算は、県内製材工場N社の貯木場のアカマツ丸太104 m<sup>3</sup>(直径20-43cm,長さ4-8m,241本)に薬剤散布を行ったときの、薬液量、散布時間をベースとして、異なる薬剤を様々な濃度で散布したと想定し、試算した薬剤経費を代入することにより行った。なお、使用薬液量は400Lとし、薬液タンクをトラックに搭載し、貯木場内を移動し、散布には動力式噴霧器を用いた。また、貯木場内に、はい積みされている丸太はグラップルにより、平積みの状態で薬剤散布を行った。作業は3人で行い、人件費は8時間労働で日当12,400円(高性能林業機械オペレーター賃金,平成16年岩手県)とし、使用した機器は償却済みとした。薬剤処理コスト(円/m<sup>3</sup>)は{(使用した薬剤経費)+(作業に費やした時間/8時間×人件費)}/(薬剤処理丸太量)により算出した。

3.3.2 結果と考察

供試した市販薬剤は有効成分が同様であっても、補助的に添加されている化合物や製剤条件により、その効果は異なる<sup>72,103)</sup>。今回、用いた薬剤に関して、表3.5に木口、材面の虫害、青変防止効果を示し、以下に防虫剤、防カビ剤、防虫剤と防カビ剤の併用処理ごとに結果を述べる。

1) 防虫剤の青変防止効果

エトフェンプロックスはキクイムシの穿孔を抑制し、青変菌の樹皮下侵入を防止する薬剤であることは第1,2節で報告している。そのときの条件は、希釈倍率50倍で、有効成分含有量は6g/Lであるが、今回の実験結果から有効成分含有量1.5,3g/Lであってもほぼ同等の効果が得られた。このことから、エトフェンプロックスを青変防止に用いるのであれば、散布濃度は1.5g/L以上となる。

スミパインでは有効成分含有量が8-32g/Lの処理区では木口の青変、材面虫害、青変が観察されなかった。スミパインと同じ有効成分であるスミパインMCで、同等の効果が発現するのは有効成分含有量有効成分含有量9.4,47g/Lの条件で

あった。スミパインはフェニトロチオン製剤であるが、スミパインMCはフェニトロチオンマイクロカプセル製剤である。今回の結果の差異は、剤型が異なることが影響したと考える。

2) 防カビ剤の青変防止効果

第1,2節の結果から、ブレザリンBAMは有効成分含有量6.7g/L(30倍希釈)で散布すると木口面の青変防止に有効であるが、今回の試験では有効成分含有量が低下してもその効果は変わらなかった。また、他の防カビ剤では、薬剤の種類、散布時の有効成分含有

表3.5 木口、材面の青変被害  
Table 3.5 Blue staining damage of inner bark and cross-cut surface.

処理 Treatment	N.O	濃度 (倍) Conc. (-fold)	有効成分 含有量 Active ingredient content (g/L)	丸太木口青変数 (個数/10本) No. of log blue-stained on the cross section area /10 logs1)	丸太の材面被害数 (個数m) Surface under the inner bark (number/m)	
					虫害 N.o of gallery system	青変 N.o of blue-stain
無処理 Cont.	—	—	—	8	22	10
防虫剤 Insecticide	1	50	6.0	10	0	1
		100	3.0	10	0	1
		200	1.5	9	1	0
		500	0.6	10	3	3
		1000	0.3	10	8	6
	3	25	32.0	0	0	0
		50	16.0	0	0	0
		100	8.0	0	0	0
		200	4.0	10	6	3
		500	1.6	10	17	11
防カビ剤 Fungicide	5	5	47.0	0	0	0
		25	9.4	10	0	0
		50	4.7	4	2	0
		100	2.4	2	2	1
		800	0.3	10	22	12
	6	30	6.7	0	7	0
		100	2.0	0	15	2
		200	1.0	0	20	10
	500	0.4	0	19	7	
	1000	0.2	0	16	3	
7	100	7.0	0	23	4	
8	100	8.0	0	32	10	
9	100	7.5	0	10	0	
防カビ剤 +防虫剤 Insecticide +Fungicide	1+6	30+50	12.7	0	0	0
		100	5.0	0	0	0
		200	2.5	0	4	0
		500	1.0	2	0	0
		1000	0.5	1	6	1
2+10+11	*	7.7	0	1	0	
4+10+11	*	1.7	0	17	6	
くん蒸 Fumigation	12	—	—	10	6	0

\* : 表3.3, 3.4参照(Show table3.3, 3.4)

量の多寡にかかわらず木口の青変はほとんど観察されず、材面の虫害、青変に対する抑制効果は観察されなかった。

### 3) 防虫剤と防カビ剤の併用の青変防止効果

防カビ剤と防虫剤を併用した場合、希釈倍率 500, 1000 を除く、全ての条件で、木口青変は観察されなかった。材面の虫害、青変において、プレザリン BAM + エトフェンプロックスでは散布時の有効成分含有量 5g/L (エトフェンプロックス 3g/L) 以上のとき材面の虫害、青変は観察されなかったが、有効成分含有量の減少に伴い、虫害、青変は増加する傾向を示した。ミルカット 90 + ミルカット 120 + スミチオン (スミチオン 1g/L) では虫害が観察され、ミルカット 90 + ミルカット 120

+ ビフェントリン (ビフェントリン 0.2g/L) では虫害と青変が観察された。これらは防虫、殺虫剤の含有量が少なかったためと考える。

### 4) 燻蒸剤の青変防止効果

ヤシマ NCS では青変は観察されなかったが、虫害は観察された。これは他の薬剤と比較して、薬剤効果の持続性が短期間であることが原因と考える。この薬剤は従来、マツクイムシ被害材などの線虫殺虫剤<sup>75)</sup>、土壌殺菌剤<sup>46)</sup>として使用されていることから、すでに丸太へクイムシが穿孔し、青変菌が樹皮下へ侵入した初期段階の場合、殺虫殺菌を目的とした使用が有効であると考える。

表3.6 薬剤散布に費やされる人件費

Table3.6 Labor costs pesticide spray

作業項目 Work	人数 Total number of people working	時給 (円) Hourly wage(¥)	時間(hr) Time	費用 (円) Total costs(¥)
オペレーター, 散布 Machine operator, pesticide spray	3	1,550	3	13,950

表3.7 薬剤処理コスト

Table3.7 Cost of chemical treated

処理 Treatment	使用薬剤 Used chemicals	薬剤単価 Chemicals bid	濃度 (倍) Conc. (-fold)	有効成分含有量 Active ingredient content (g/L)	薬剤費用 Chemicals price(¥)	人件費 Labor cost(¥)	総費用 Total cost(¥)	処理コスト Treated cost (¥/m <sup>3</sup> )
防虫剤 Insecticide	エトフェンプロックス Ethofenprox	15,000 (¥/L)	50	6.0	120,000	13,950	133,950	1,288
			100	3.0	60,000		73,950	711
			200	1.5	30,000		43,950	423
	スミバイン Pine Su-mi	5,600 (¥/L)	25	32.0	89,600	103,550	996	
			50	16.0	44,800	58,750	565	
			100	8.0	22,400	36,350	350	
防カビ剤 Fungicide	スミバインMC Su-mi Pine MC	1,917 (¥/L)	5	47.0	153,360	13,950	167,310	1,609
			25	9.4	30,672		44,622	429
	プレザリンBAM BAM PUREZARIN	2,700 (¥/L)	30	6.7	36,000		49,950	480
			100	2.0	10,800		24,750	238
			200	1.0	5,400		19,350	186
			500	0.4	2,160		16,110	155
トップジン Top-jin	4,760 (¥/kg)	1000	0.2	1,080	15,030	145		
		100	7.0	13,328	27,278	262		
防カビ剤 +防虫剤 Insecticide +Fungicide	マンネブ Maneb	1,740 (¥/kg)	100	7.5	5,220	19,170	184	
			30+50	12.7	156,000	169,950	1,634	
			フェンプロックス Ethofenprox+BAM	各100	5.0	70,800	84,750	815
	PUREZARIN	各200	2.5	35,400	49,350	475		

### 5) 薬剤の処理コスト

表 3.6 に薬剤散布に費やされる人件費、表 3.7 に薬剤処理コストを示す。薬剤散布に費やした時間は3時間で、人件費は 13,950 円となり、単位立方当たりの人件費は 134 円/㎡となった。木口青変については、防カビ剤は、実験した全ての条件で防止可能であったことから、そのコストは 145-480 円/㎡となった。また、樹皮下材面の虫害、青変を少なくとも 1 ヶ月以上防止した防虫剤の散布条件は、エトフェンプロックスの有効成分含有量 1.5g/L 以上、スミパイン有効成分含有量 8g/L 以上およびスミパイン MC 有効成分含有量 9.4g/L 以上となり、そのコストはそれぞれ 423-1,288, 350-996 および 429-1,609 円/㎡であった。さらに、木口の青変、材面の虫害、青変を少なくとも 1 ヶ月以上防止できる条件であるプレザリン BAM + エトフェンプロックス有効成分含有量 5g/L のコストは 815 円/㎡、スミパイン有効成分含有量 8.0g/L 以上のコストは 350-996 円/㎡となった。N 工場から聞き取った薬剤処理許容コストは 500-1,000 円/㎡であり、今回の処理は効果、経済面で実用的であることが明らかとなった。

### 6) 最適薬剤処理条件と今後の課題

先に述べた 3.2 の結果から、秋、冬期伐採されたアカマツの青変状況は、木口では伐採後 30-60 日以降で観察されるが、材面では 3 月下旬以降までは、キクイムシの穿孔、青変は顕著には発生していない。従って、9 月から 2 月に伐採されたアカマツ丸太は、従来通りに取扱っても深刻な青変被害を受けることはないと考えられる。仮に薬剤処理を行うとしても、木口青変の防止に限定され、表 3.9, 3.11 の結果を併せて考えると、プレザリン BAM を 200 倍希釈、もしくはマンネブを 100 倍希釈で木口面に散布することが青変防止、経済的に有効であると考えられる。

春、夏期では、伐採後 2 週間以内にキクイムシの穿孔が観察されるため、伐採後速やかな薬剤処理が必要と考える。表 3.9 の結果から、プレザリン BAM を 200 倍希釈、エトフェンプロックスを 100 倍希釈で散布すれば少なくとも 1 ヶ月間の青変防止が可能となると考える。また、スミパインを 100 倍希釈で散布しても、同様の効果が得られ、前述の散布条件より安価であるが、スミパインの有効成分であるフェニトロチオンのマウスの経口毒性は約 1000LD<sub>50</sub>;mg/kg であり、エトフェンプロックスの 100 倍となっている<sup>96)</sup>。人体、環境への配慮を考えれば、低毒性の薬剤を選択して用いることが望ましいと考える。

今回の実験は、試験地内のアカマツ林内で行ってい

るが、実際に林内で多量の薬剤を散布することは、他の昆虫への影響や河川の汚染の危険性が考えられ、林内で発生するマツタケやアマタケなどの人工栽培が困難な菌根性の食用きのこへの収穫量にも影響する可能性がある。したがって、本研究で開発した青変防止技術は、製材工場の貯木場で行うことが前提となる。2.1 でも述べているが、製材工場貯木場でも林内と同様にキクイムシの穿孔による青変が観察されており、貯木場に青変菌相が持ち込まれた場合にも、本技術は十分に効果をあげることができると考える。

春、夏期の青変被害を防止するためには、伐採後早期に薬剤散布することが必要となるため、伐採日の把握、早期伐出は青変防止において重要な要素となる。しかし、現状では、伐出コスト抑制のための林内への長期貯木、伐採作業者の青変被害に対する認識不足など問題が残っている。本研究の知見に基づいた通年出荷体制の構築を森林所有者、素材生産者および製材業者で進めていくのが今後の課題であると考えられる。

### 3.4 被覆材を用いてキクイムシ類の穿孔を阻害した際の青変防止効果

これまでの検討により、薬剤処理により青変防止を行う際、木口面の青変は防カビ剤を用い菌の生育を抑制することが、材面の青変は防虫剤を用い樹皮下へのキクイムシの穿孔を抑制することが有効であることが明らかとなった。

しかし、アカマツ原木は製材の際に、剥皮され、その樹皮は、燃料、家畜の敷料、パーク堆肥などに利用される。このような用途へ樹皮を活用することを考慮すると、薬剤処理は、家畜への薬害、樹皮の発酵・分解阻害が危惧される。したがって、青変防止には薬剤散布以外の方法の提案も必要である。これまでの実験から、青変は樹皮下キクイムシ類の穿孔が主要因であることが明らかとなっている。したがって、樹皮下キクイムシ類の穿孔を薬剤散布以外の方法で阻害することで、青変被害の大幅な抑制が可能になると推定される。

これまで、マツクイムシ被害を抑制するため、防虫ネットでアカマツ丸太を被覆しカミキリの産卵防止を試みた報告<sup>112)</sup>や、同じくネットで農作物のアブラムシ被害を防止した報告<sup>47)</sup>があり、伐採後の丸太をネットで被覆することで、キクイムシの穿孔を阻止できることが予想できる。また、伐倒アカマツ樹幹の揮発成分がキクイムシ類の誘因物質であること<sup>43,60)</sup>から、スギなど他の樹種により丸太を被覆することで、キクイム



シを攪乱させることも期待できる。

さらにキクイムシの穿孔抑制効果に関連し、スギ、マツなどの針葉、スギ樹皮に含まれる揮発性成分はテルペン類であり、特に針葉には昆虫などを誘引あるいは忌避する作用を持つ化合物の存在が知られている<sup>73, 74, 124</sup>。たとえば尾田<sup>43</sup>はアカマツ材では伐採後、樹皮下では嫌氣的雰囲気では細菌などにより解糖作用が進み、メタノール、エタノールなどのアルコール類が生成され、これらもキクイムシ類の誘引成分となることを報告している。また、上田は<sup>40</sup>ピネンとエタノールを主成分とする誘引剤マダラコールを用い、マツ樹皮下に侵入する昆虫の誘引作用について検討し、ピネンにはゾウムシ、マツノツノキクイムシが、エタノールにはキイロコキクイムシが誘引されることを報告している。

そこで本節では、青変の大きな要因である樹皮下キクイムシの穿孔を阻害するため、防虫ネット、粉碎したスギ樹皮あるいはスギ葉をアカマツ丸太の被覆材として用いた場合の青変防止効果について検討した。

なお、本実験は既に報告<sup>87</sup>されたものに補筆を行ったものである。以下に概要を示す。

### 3.4.1 実験方法

#### 1) 試験地、試験期間および材料

岩手県岩手郡岩手町の約30年生アカマツ林内で、2004年5-7月、7-9月に試験を行った。同林内のアカマツを伐採し、長さ1m、直径6-15cmの丸太を調製し、各処理区に10本ずつ供試した。

#### 2) 処理

写真3.4に各処理区の状況を示す。防虫ネット処理区は、丸太を山積みした後周囲を鍬で20~30cm掘り、防虫ネット(3×2m, 1mmメッシュ)で被覆しネットの裾を地面に埋設する方法である。

スギ樹皮処理では、(株)葛巻林業で粉碎したスギ樹皮(長さ1-10mm, 幅0.5-8mm)を用い、平積みした丸太を被覆した。被覆に用いた樹皮量は30リットル(樹皮A処理区)、および60リットル(樹皮B処理区)とした。

スギ葉処理(スギ葉処理区)は、同試験地内に植栽してあるスギ林で新鮮な葉の付いた枝を集め、長さ30-40cmに切り、丸太が被覆されるまで積み上げる方法とした。また、比較として無処理区(コントロール)、防カビ・防虫処理区を設定した。防カビ・防虫処理には、防カビ剤として(株)ザイエンス社製ブレザリンBAMを、防虫剤には同社製サンプルザーWELを、それぞれ30倍、50倍に水で希釈して用いた。

### 3) 調査

林地内へ丸太を配置してから、1および2ヶ月経過後に、それぞれ5本ずつ抜き取り、木口が青変している丸太の本数を数えた。また、木口面以外の材面については丁寧に剥皮し、穿孔しているキクイムシ類、ゾウムシ類の虫害数、青変箇所数を測定した。虫害数、青変箇所数が丸太1本当たり30箇所を超えている場合は30箇所として結果をまとめた。

青変被害と判断した箇所は内樹皮と形成層を鉋で削った際に、辺材部が青変している部分である。測定した虫害数、青変箇所数はそれぞれの丸太の直径、長さを求めて算出した単位表面積当たりの数(1㎡当たりの数)とした。また、剥皮後、丸太(長さ1m)を木口から10cmごとに切断し、切断部計9ヶ所の断面について青変部位の面積を測定し、各丸太断面に占める青変面積の割合(断面青変率=(各断面の青変部面積の和/各断面の全面積の和))を算出した。

以上の試験は、開始時期を変えて2回行った。なお、2回目の試験では処理を無処理、防虫・防カビ処理および防虫ネット処理とした。

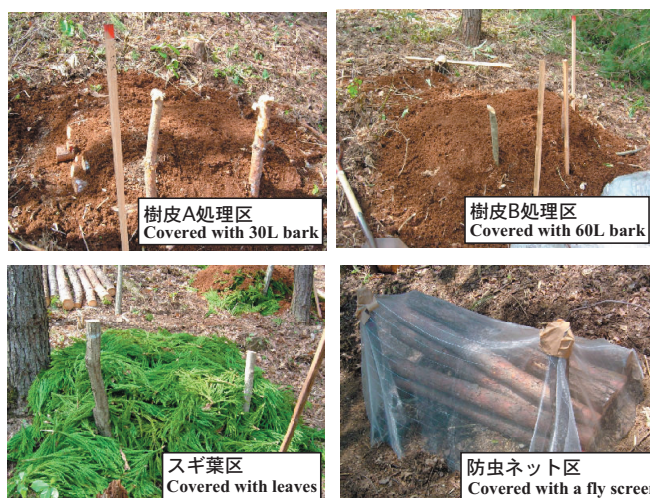


写真3.4 被覆処理  
Photo 3.4 Coverd process

### 3.4.2 結果と考察

各処理区の木口、樹皮下材面の虫害、青変状況および断面青変率について、表3.8、3.9に1回目(試験開始2004.5.28)に行った試験結果を、表3.10、3.11に2回目(試験開始2004.7.11)に行った試験結果を示す。

#### 1) 木口の青変

1回目の試験(試験開始2004.5.28)において、1ヶ月経過後、木口面が青変した丸太は、コントロールでは供試丸太10本中6本、防カビ・防虫処理区では0本であった。一方、防虫ネット処理区では0本、樹皮A



処理区では6本、樹皮B処理区では10本、スギ葉区では6本となった。さらに、2ヶ月経過後では防カビ・防虫処理区以外の全ての丸太の木口が青変した。

防虫ネット処理区の1ヶ月経過後の木口面の青変が0本であったことについて確認のため、伐採時期を変えて2回目の試験(試験開始2004.7.11)を行った。その結果、1ヶ月経過後、木口面が青変した丸太はコントロールでは供試丸太10本中10本、防虫ネット処理区では10本であった。2ヶ月経過後は1回目と同様の傾向を示した。

このことから、防虫ネット、スギ樹皮、スギ葉で被覆しても、木口青変を防ぐことはできなかった。

2) 樹皮下材面の青変

1回目の試験(試験開始2004.5.28)において、1ヶ月経過後の虫害数は、コントロールでは51個/m<sup>2</sup>、防カビ・防虫処理区では0本であった。一方、防虫ネット処理区では1個/m<sup>2</sup>、樹皮A処理区では79個/m<sup>2</sup>、樹皮B処理区では4個/m<sup>2</sup>、スギ葉処理区では0個/m<sup>2</sup>となった。さらに、2ヶ月経過後ではコントロール119個/m<sup>2</sup>、防カビ・防虫処理区では0個/m<sup>2</sup>、防虫ネット処理区32個/m<sup>2</sup>、樹皮A処理区116個/m<sup>2</sup>、樹皮B処理区では102個/m<sup>2</sup>、スギ葉処理区では130個/m<sup>2</sup>となった。虫害数の増加に伴い、青変数も増加する傾向を示した。2回目の試験(試験開始2004.7.11)においてもコントロールに比べ、防虫ネット処理区では、虫害数、青変数が少ない傾向にあった。

1回目の試験(試験開始2004.5.28)の際、各処理区で採取された穿孔性昆虫の同定結果を表3.12に示す。コントロールと防虫ネット処理区では、主に樹皮下キクイムシとそれらによる穿孔が観察されたが、樹皮A、B処理区、スギ葉処理区では樹皮下キクイムシの他にゾウムシの穿孔(写真3.5)が顕著に観察された。このことが、虫害数の割に青変数が少ない現象の理由であろう。また、防虫ネット処理区では、キクイムシによりネットが食い破られていた形跡が観察され、ネットを2重にするなどの措

表3.8 各処理区の木口、樹皮下材面の虫害、青変および断面青変率(試験開始2004.5.28,1ヶ月経過後)  
Table 3.8. Preventive effects of blue stain on Japanese red pine logs covered with a fly screen, bark and leaves of Japanese cedar in comparison to a chemical treatment. Tested from May 28th to June 28th /2004 (1 month).

処理 Covering or treatment	木口面青変本数 (本数10本) No. of log blue-stained on the cross section area /10 logs	樹皮下材面 Surface under the inner bark		断面青変率(%) % of blue stain area on the cross-cut surface		
		虫害(個数m <sup>2</sup> ) No. of gallery system /m <sup>2</sup>	青変(個数/m <sup>2</sup> ) No. of blue stain /m <sup>2</sup>	Ave.	Min.	Max.
無処理 Control	6	51	16	2	0	6
薬剤処理(防カビ・防虫) Chemical treatment	0	0	0	0	0	0
ネット処理 Covered with a fly screen	0	1	0	0	0	0
樹皮処理A(30L) Covered with 30L bark	6	79	6	1	0	4
樹皮処理B(60L) Covered with 60L bark	10	4	0	0	0	1
スギ葉処理 Covered with leaves	6	0	0	1	0	3

表3.9各処理区の木口、樹皮下材面の虫害、青変および断面青変率(試験開始2004.5.28,2ヶ月経過後)  
Table 3.9. Preventive effects of blue stain on Japanese red pine logs covered with a fly screen, bark and leaves of Japanese cedar in comparison to a chemical treatment. Tested from May 28th to July 28th/2004 (2 months).

処理 Covering or treatment	木口面青変本数 (本数10本) No. of log blue-stained on the cross section area /10 logs	樹皮下材面 Surface under the inner bark		断面青変率(%) % of blue stain area on the cross-cut surface		
		虫害(個数m <sup>2</sup> ) No. of gallery system /m <sup>2</sup>	青変(個数/m <sup>2</sup> ) No. of blue stain /m <sup>2</sup>	Ave.	Min.	Max.
無処理 Control	10	119	102	4	4	34
薬剤処理(防カビ・防虫) Chemical treatment	2	0	0	0	0	0
ネット処理 Covered with a fly screen	10	32	11	1	1	4
樹皮処理A(30L) Covered with 30L bark	10	116	35	0	0	8
樹皮処理B(60L) Covered with 60L bark	10	102	9	0	0	8
スギ葉処理 Covered with leaves	10	130	31	1	1	21

表3.10 各処理区の木口、樹皮下材面の虫害、青変および断面青変率(試験開始2004.7.11,1ヶ月経過後)  
Table 3.10. Preventive effects of blue stain on Japanese red pine logs covered with a fly screen in comparison to a chemical treatment. Tested from July 11th to August 11th/2004 (1 month).

処理 Covering or treatment	木口面青変本数 (本数10本) No. of log blue-stained on the cross section area /10 logs	樹皮下材面 Surface under the inner bark		断面青変率(%) % of blue stain area on the cross-cut surface		
		虫害(個数m <sup>2</sup> ) No. of gallery system /m <sup>2</sup>	青変(個数/m <sup>2</sup> ) No. of blue stain /m <sup>2</sup>	Ave.	Min.	Max.
無処理 Control	10	110	22	1	0	4
薬剤処理(防カビ・防虫) Chemical treatment	0	2	2	0	0	0
ネット処理 Covered with a fly screen	10	2	2	1	0	2

表3.11 各処理区の木口、樹皮下材面の虫害、青変および断面青変率(試験開始2004.7.11,2ヶ月経過後)  
Table 3.11. Preventive effects of blue stain on Japanese red pine logs covered with a fly screen in comparison to a chemical treatment. Tested from July 11th to September 15th/2004 (2 month).

処理 Covering or treatment	木口面青変本数 (本数10本) No. of log blue-stained on the cross section area /10 logs	樹皮下材面 Surface under the inner bark		断面青変率(%) % of blue stain area on the cross-cut surface		
		虫害(個数m <sup>2</sup> ) No. of gallery system /m <sup>2</sup>	青変(個数/m <sup>2</sup> ) No. of blue stain /m <sup>2</sup>	Ave.	Min.	Max.
無処理 Control	10	138	40	14	1	27
薬剤処理(防カビ・防虫) Chemical treatment	0	13	4	0	0	0
ネット処理 Covered with a fly screen	10	40	11	4	0	8

置が必要である。

スギ樹皮、スギ葉の被覆によるキクイムシの穿孔抑制効果に関して、スギ葉処理区では、スギ葉が発する忌避物質によりキクイムシの穿孔を抑制したが、時間経過に伴い、その効果が低下したためであると考えられる。一方、樹皮処理区では、スギ樹皮による被覆は、嫌氣的雰囲気と考えられ、アルコール類を生成し、キクイムシ類を誘引することが推測されるにもかかわらず、1ヶ月間キクイムシの穿孔を抑制していた。実際、2ヶ月目にはゾウムシが顕著に観察されていることから、アルコール類が生成されている可能性は高いと考える。したがって、スギ樹皮被覆の効果としては、物理的な作用、スギ樹皮に含まれる化合物がキクイムシ類の穿孔を忌避している2つの可能性が挙げられる。忌避物質としては、防虫、抗菌効果があるといわれているフェルギノールが挙げられる<sup>61)</sup>。フェルギノールについては、抗菌性に関する報告<sup>61)</sup>はあるが、防虫効果に関しては報告が無く、この化合物とキクイムシの忌避に関しては明らかではない。

仮にスギ樹皮の被覆がこれら2つの効果により、キクイムシの穿孔を阻害したとすれば、2ヶ月目に効果が減少した理由として、風などによりスギ樹皮が飛散し、被覆層が薄くなり、併せて、日照、雨などに2ヶ月間暴露され、防虫性の化合物が分解・流脱したため、物理的作用、忌避作用が減少したと考える。

3) 丸太断面の青変

各処理区について1ヶ月経過では断面の青変は僅かであったが、2ヶ月経過した丸太断面に占める青変割合の平均は、コントロール12%、防カビ・防虫処理区0%、防虫ネット処理区2%、樹皮A処理区2%、樹皮B処理区4%、スギ葉処理区8%となった(表3.8, 3.9)。このことから、被覆によるキクイムシの穿孔の阻害は青変の抑制に有効であることが明らかとなった。しかし、丸太断面の青変状況は、樹皮下材面のキクイムシの穿孔状況に大きく影響されるために、バラツキが大きく、平均値が抑制効果を反映する数字とは必ずしもなり得ないと考え、丸太の断面青変率の分布について検討した。図3.2に各処理区の断面青変率の分布を処理区ごとに示す。

図3.2によれば、1ヶ月経過後、コントロールでは断面青変率0-1%が全体の約60%を占め、1-5%が約30%、5-10%が約5%となっている。これに対し防虫ネット処理区では断面青変率0-1%が100%、スギ樹皮A、B処理区、スギ葉処理区では断面青変率0-1%が90%以上を占めているが、市場における商品的価値が極めて

表3.12 2ヶ月間保持されたアカマツ丸太で捕獲した穿孔虫  
Table 3.12 Capture insect in Akamatsu logs after 2months keeping.

処理区 Covering or treatment	樹皮下に穿孔した昆虫 Insects of inner bark
無処理 Control	マツノムツバキクイムシ <i>Ips acuminatus</i>
薬剤処理(防カビ・防虫) Chemical treatment	マツノムツバキクイムシ キイロコキクイムシ <i>Ips acuminatus</i> <i>Cryphalus fulvus</i>
ネット処理 Covered with a fly screen	マツノシラホシゾウムシ <i>Shirahoshizo insidiosus</i>
樹皮処理A(30L) Covered with 30L bark	マツノシラホシゾウムシ <i>Shirahoshizo insidiosus</i>
樹皮処理B(60L) Covered with 60L bark	マツノシラホシゾウムシ マツノキクイムシ <i>Shirahoshizo insidiosus</i> <i>Tomicus piniperda</i>
スギ葉処理 Covered with leaves	マツノシラホシゾウムシ <i>Shirahoshizo insidiosus</i>

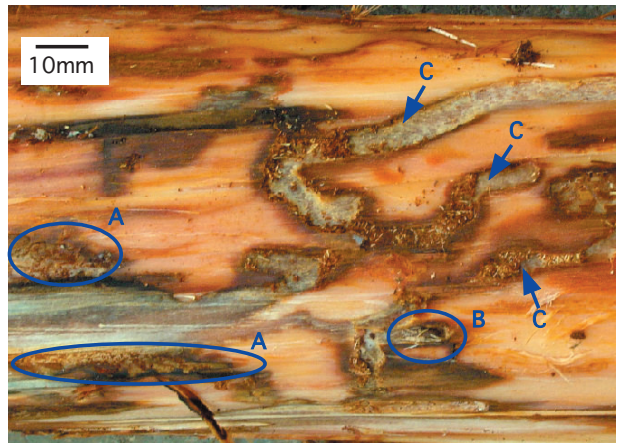


写真3.5 アカマツ樹皮下の虫害  
Photo 3.5 Insects of inner bark

- A : 樹皮下キクイムシの穿孔痕  
Gallery system of bark beetle
- B : ゾウムシの蛹室  
Pupal chamber of weevils
- C : ゾウムシの穿孔痕  
Gallery system of weevils

下落すると考えられる断面青変率が5%超の出現率を見ると、スギ樹皮A処理区では5-20%に、スギ樹皮B処理区では5-10%に、スギ葉処理区では10-20%に局所的な青変拡大が発生していることがわかる。

この傾向は2ヶ月経過すると顕著となる。このような、局所的に青変した丸太を製材すると、その材面に青変が現れてしまうことが容易に推測される。このことから、スギ樹皮A、B処理区、スギ葉処理区の断面青変率は無処理に比べ青変部位の量は少ないが、製品の汚染度、健全度という観点からは、無処理と変わらないといえる。ネット処理に関しては、2ヶ月経過しても断面青変率は0-10%までに概ね収束することから、無処理と比較して明らかに青変を抑制していることが分布からわかる。

以上のことから、スギ樹皮、スギ葉での被覆は1ヶ月にわたりキクイムシなどの穿孔は抑制できるが、2ヶ月

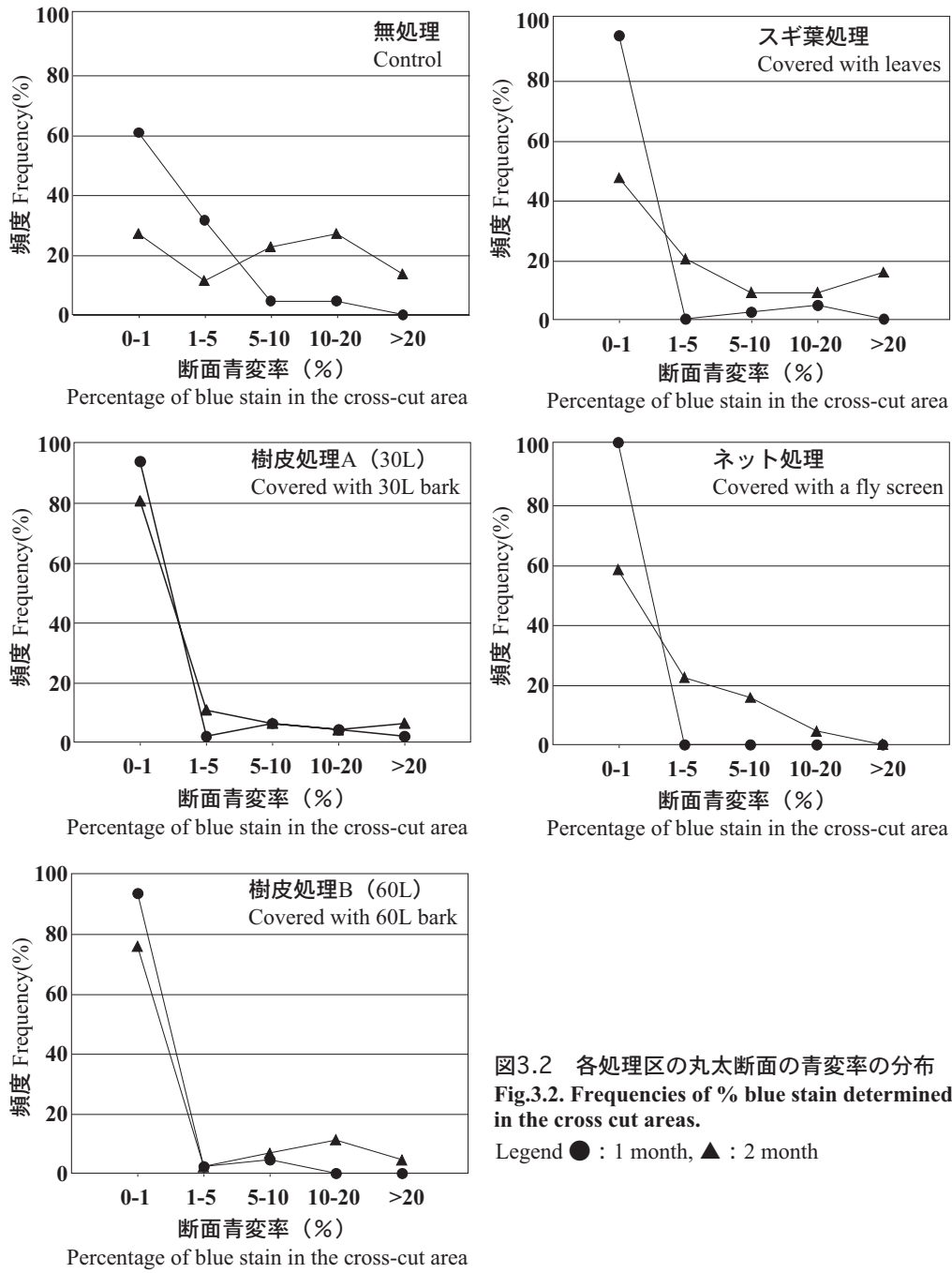


図3.2 各処理区の丸太断面の青変率の分布  
 Fig.3.2. Frequencies of % blue stain determined in the cross cut areas.  
 Legend ● : 1 month, ▲ : 2 month

月間はその効果を持続できないことが明らかとなった。しかし、これらの処理は1ヶ月間青変発生の主要因であるキクイムシの穿孔を遅らせることができるため、施業状況に応じて青変防止の手段として実施することは有効であると考えられる。また、防虫ネットにより丸太を被覆することは、キクイムシの穿孔を抑制し、青変の拡大を遅延させることができ、2ヶ月程度は効果があることが明らかとなった。

## 第4章 内装材としてアカマツを利用するための表面改質技術

建築用内装材にはいくつかあるが、アカマツ材はこれまでも床材として重宝されていた。しかし洋風化住宅などへの利用を考慮すると、傷が付きやすいという短所があり、これを解決できる改質技術の開発が必要である。アカマツの晩材部の硬さは、ミズナラ、クリなどの広葉樹材相当の値を示すが、早材部はスギ材相当の値であり、床材などへの利用に際し、軟質な早材部の改質が必要となる。これまで国内では、様々な化学処理<sup>31, 35, 131)</sup>によって木材の硬度向上を試みた事例があるが、特殊装置の導入は、県内に多くある小規模な生産設備しか持たない工場では困難である。

材料の欠点を化学処理以外の方法で改質する方策として、単板積層（以下、LVL）による材料の均質化が挙げられる<sup>68, 69)</sup>。この方法を応用することにより、軟質早材部の分散効果、接着層による補強効果が期待できる。本実験では、試作された材料において、基材、材料表面改質部分、塗装層に硬さの評価を分類して、それぞれ、部分圧縮、ブリネル、ビッカース硬さ試験を行い、製品の用途に必要な硬さが得られる最小限の改質方策を検討した結果を述べる。

なお、本実験は既に報告<sup>10, 77, 78)</sup>されたものに補筆を行ったものである。以下に概要を示す。

### 4.1 実験方法

#### 4.1.1 供試材料とLVLの製造

同一の丸太から、アカマツ辺材（比重0.51）を本板目の木取りで12体（寸法L×R×T=2000×60-80×120mm）製材し、生材のまま温水浴槽で60℃、1週間煮沸して軟化を行い、厚さ1-5mmの板目単板をそれぞれ20-100枚調製し、室温で4週間風乾（含水率9%）させた後、実験に供した。また、同じ丸太から、コントロールとして、板目板、柁目板を各1体調製し、含水率15%を目標に人工乾燥を行った。

それぞれの厚さの単板ごとに、水性ビニルウレタン樹脂系接着剤を塗布（塗布量220～250g/m<sup>2</sup>）し、コールドプレスを用いて積層接着（0.98MPa, 12時間）した。製造したLVLは積層面を試験面とした。

#### 4.1.2 供試塗料と塗装

下塗り塗料として、(株)齊藤塗料社製木肌塗料<sup>R</sup>の下塗り用塗料である木堅め剤<sup>R</sup>（1-2ポリブタジエン）を用いた。

上塗り塗料には、市販床用塗料の中から乾燥塗膜の

鉛筆硬度が異なる塗料を選んだ。表4.1に実験に供した塗料タイプ、記号、鉛筆硬度を示す。紫外線硬化型塗料2種類は(株)齊藤塗料社製で脂肪族ウレタンアクリレートオリゴマーを主成分としたものである。また、ポリウレタン樹脂塗料3種類としては(株)ユニオンペイント社製ポリオール硬化型（2液型）、油変性型（1液型）、湿気硬化型（1液型）を用いた。

塗装は、試験体表面に下塗り塗料を塗布し、室温（20±5℃）で風乾した。この際、塗布量は測定していない。下塗り塗料乾燥後、試験体表面を研磨した後、上塗り塗料を塗布し風乾（20±5℃, 24時間）した。紫外線硬化型塗料の硬化条件は、メタルハライドランプ120W/cm<sup>2</sup>、照射距離20cm、コンベアースピード3m/minとした。なお、比較として下塗りのみの試験体も作成した。

#### 4.1.3 硬さ試験

##### 1) ビッカース硬さ試験

ビッカース硬さは薄膜物性評価装置（日本電気株式会社製：MHA-400型）を用い、JIS Z 2244に準拠して測定した。なお、試験体は各条件1体とし、測定箇所は試験片表面の早材部分に限定した5箇所とした。

##### 2) ブリネル硬さ試験

万能試験機AG-10TD（(株)島津製作所製）を用い、JIS Z 2101に準拠してブリネル硬さを求めた。なお、試験体は各条件1体とし、試験体表面に8mmのマスを作成し、交点を測定箇所として各試験体について90点を測定した。

##### 3) 部分圧縮試験

万能試験機（(株)島津製作所製：AG-10TD）を用い、JIS Z 2101に準拠して、鋼板（30×20×10mm）を用いて試験体を圧縮し、縮み量が辺長の5%の時の荷重を測定することにより、部分圧縮強度を求めた。なお、繰り返しは1条件あたり12体とした。

表4.1 塗料タイプと略称、鉛筆硬度

Table.4.1 Types of top coat and their hardness evaluated by pencil scratch test

塗料 Top coat	塗料タイプ Types of top coat	略称 Abbreviation	鉛筆硬度 Evaluated by pencil scratch test
紫外線硬化型 Ultraviolet curing polymer coating	ハードタイプ Hard type	UV-H	4H
	ソフトタイプ Soft type	UV-S	2H
ポリウレタン樹脂 Poly urethane resin	油変性タイプ Oil modified type	U-O	H
	湿気硬化タイプ Moisture curing type	U-M	F
	ポリオールタイプ Polyol curing type	U-P	B



4.2 結果と考察

4.2.1 ビッカース硬さ

アカマツ板目面と柾目面の早材部のビッカース硬さは5.0であった。LVLの積層面についても実験を行ったが、測定部位が微細なため、早材では値の変化は観察されなかった。図4.1に塗装アカマツLVLの積層数とビッカース硬さを示す。ビッカース硬さは上塗り塗料の影響を大きく受け、特に鉛筆硬度の高い塗料ほどその硬さは増加した。また、他の条件についても、積層数が多いほど、下塗り塗装を行うほど、ビッカース硬さは増加した。最も硬さの増加が著しいのは

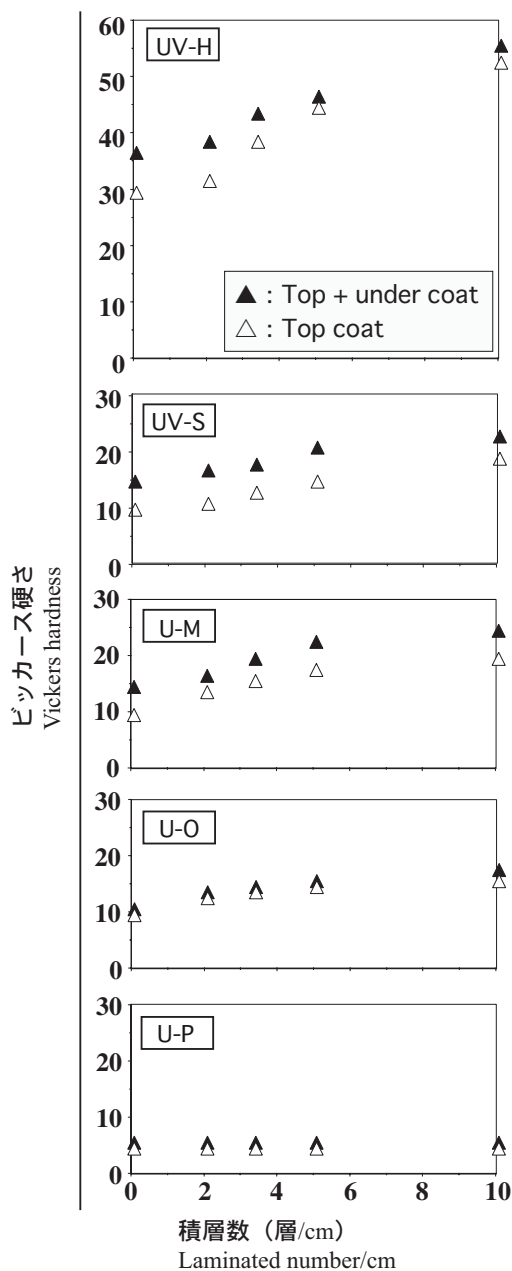


図4.1 塗装アカマツLVLの積層数とビッカース硬さの関係  
 Fig.4.1 Relation between Laminated number and Vickers hardness.

UV-H, 下塗り有り, 単板厚さが1mmの条件で、硬さは56.2を示した。ウレタン塗装ケヤキ材のビッカース硬さは20~22.3<sup>22)</sup>であり、今回の試験体は2倍以上の値を示していた。

4.2.2 ブリネル硬さ試験

1) 板目, 柾目面のブリネル硬さの分布

図4.2にアカマツ板目面のブリネル硬さの分布を、図4.3に柾目面のブリネル硬さの分布を示す。板目面では、ブリネル硬さの平均は13.8MPa (N/mm<sup>2</sup>)であったが、その分布形は正規分布を示さず、10MPa付近に最頻値があり、変動係数39%, 出現範囲は6-32MPaと

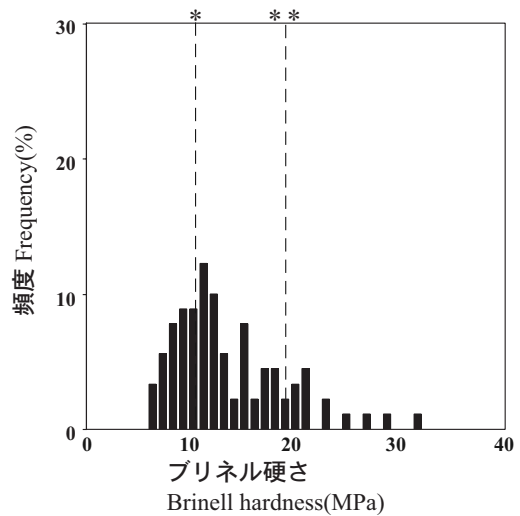


図4.2 アカマツ板目面のブリネル硬さ分布  
 Fig.4.2. Distribution of brinell hardness on flat grain.  
 \* : アカマツ板目面10.8 MPa (A.V) 木材工業ハンドブック (1982) より  
 Literature value of Akamatsu-flat grain  
 \*\* : ケヤキ板目面19.6 MPa (A.V) 同上  
 Literature value of Zelkova-flat grain

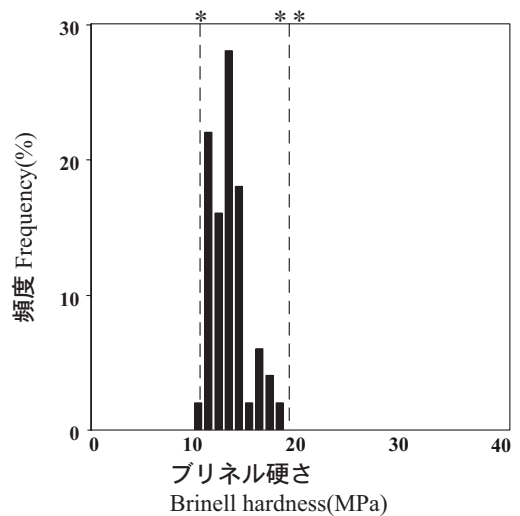


図4.3 アカマツ板目面のブリネル硬さ分布  
 Fig.4.3. Distribution of brinell hardness on edge grain.  
 \*, \*\*: 図4.2参 Show Fig.4.2

きわめてばらつに大きいものであった。これは硬さ測定部分に含まれる早材部と晩材部と比率によるものであり、早材部では最頻値の10MPa程度と思われる。

一方、柾目面では、ブリネル硬さの平均は13.4MPaとなり、板目面と値は変わらないが、変動係数13%、出現範囲は10-19MPaとなり、板目面と比較して、その分布幅が小さいことがわかる。また、早材部、晩材部位に由来すると考えられるピークがそれぞれ10-15MPa、16-19MPaに観察されるが、板目面で観察された10MPa以下、20MPa以上の部位は柾目面では無かった。

ブリネル硬さ試験と比較して、ビッカース硬さ試験では木取りによる硬さの差異が観察されなかった。これはビッカース硬さ試験の圧子とブリネル硬さ試験の圧子の面積に大きな差があるためで、ブリネル硬さ試験における硬さのバラツキは、めり込み変形する木部の早晚材の割合が、試験部位で異なることによる。したがって、ブリネル硬さの分布を把握することは、材料表面の硬さを測定する有効な手段であると考えられる。

2) LVL化されたアカマツのブリネル硬さ

表4.2に無塗装アカマツLVLの密度とブリネル硬さを示す。また、図4.4-4.7に無塗装アカマツLVLのブリネル硬さ分布を示す。LVLを構成する単板厚さが減少(すなわち、積層数が増加)すると、密度は増加した。これは、接着剤の充填効果による。一方、ブリネル硬さは、板目面と比較すると、LVLを構成する単板の厚さが減少する

に伴い、増加傾向を示し、25-58%向上した。また、各条件のブリネル硬さの分布は、LVLを構成する単板厚さの減少に伴い、硬さの増加方向にシフトし、早晩材に由来すると考えられる2つのピークも消失する傾向

表4.2 アカマツLVLの密度(g/cm<sup>3</sup>)とブリネル硬さ(MPa)  
Table 4.2 Density of Akamatst LVL and brinell hardness

項目 Items	板目面 Flat grain	柾目面 Egde grain	LVLを構成する単板厚さ Veneer thickness and its variation			
			5mm	3mm	2mm	1mm
密度(平均値) Density(A.V)	0.52	0.52	0.58	0.61	0.60	0.67
標準偏差 Standard deviation	0.020	0.020	0.026	0.012	0.019	0.016
ブリネル硬さ(平均値) Brinell hardness(A.V)	13.8	13.4	17.3	18.7	18.9	21.8
標準偏差 Standard deviation	0.55	0.18	0.38	0.43	0.44	0.43

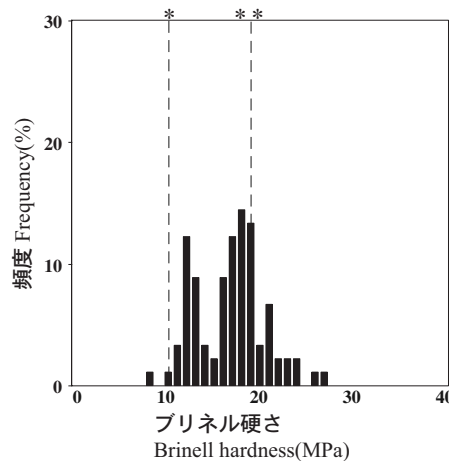


図4.4 無塗装アカマツLVL(5mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.4. Distribution of brinell hardness on non-coating Akamatsu LVL(5mm).  
\*, \*\*: 図4.2参 Show Fig.4.2

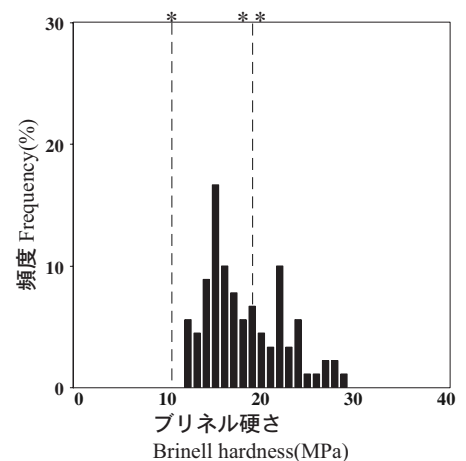


図4.5 無塗装アカマツLVL(3mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.5. Distribution of brinell hardness on non-coating Akamatsu LVL(3mm).  
\*, \*\*: 図4.2参 Show Fig.4.2

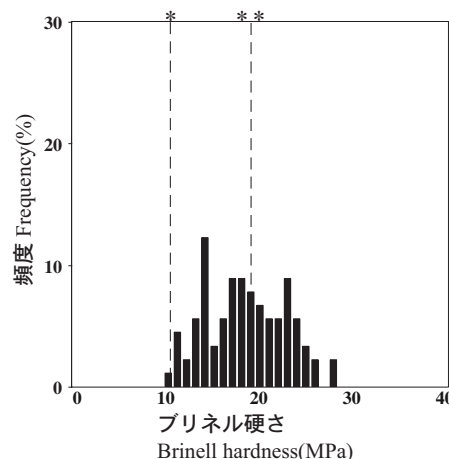


図4.6 無塗装アカマツLVL(2mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.6. Distribution of brinell hardness on non-coating Akamatsu LVL(2mm).  
\*, \*\*: 図4.2参 Show Fig.4.2

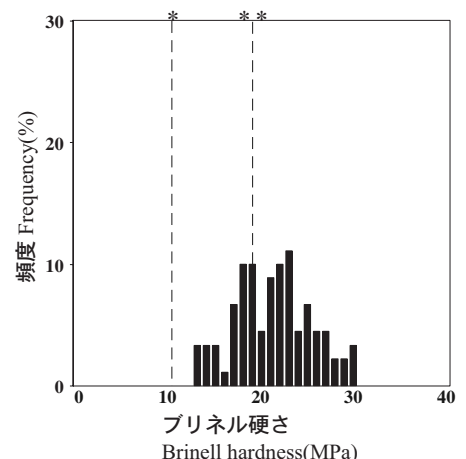


図4.7 無塗装アカマツLVL(1mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.7. Distribution of brinell hardness on non-coating Akamatsu LVL(1mm).  
\*, \*\*: 図4.2参 Show Fig.4.2

表4.3 塗装, 積層条件とブリネル硬さ(MPa)  
Table4.3 Coating, laminating conditions and Brinell hardness

構成区分 Classification	積層数 Laminate d number		塗装条件 Coating											
			Non-coat	UV-H		UV-S		U-M		U-O		U-P		
				u.c.*	n. u.c.**	u.c.	n. u.c.	u.c.	n. u.c.	u.c.	n. u.c.	u.c.	n. u.c.	
柱目板 edge grain	1	平均(A.V)	13.4	17.3	15.0	15.8	15.0	17.4	16.3	18.2	16.6	14.4	17.6	
		標準偏差(S.D)	0.18	0.22	0.20	0.21	0.22	0.19	0.24	0.20	0.17	0.13	0.19	
L V L	5mm	20	平均(A.V)	17.3	21.8	—***	19.0	17.3	20.9	20.2	18.7	15.7	21.4	20.2
		標準偏差(S.D)	0.38	0.47	—	0.49	0.38	0.44	0.48	0.41	0.33	0.49	0.42	
	3mm	33	平均(A.V)	18.7	20.0	20.6	20.0	20.8	21.2	19.0	20.1	18.8	19.9	21.2
		標準偏差(S.D)	0.43	0.39	0.38	0.36	0.45	0.38	0.41	0.33	0.33	0.42	0.45	
	2mm	50	平均(A.V)	18.9	18.6	18.3	20.5	17.1	20.7	17.9	20.8	16.4	22.7	18.2
		標準偏差(S.D)	0.44	0.38	0.39	0.48	0.32	0.48	0.41	0.47	0.36	0.47	0.38	
	1mm	100	平均(A.V)	21.8	24.9	22.4	24.5	23.6	23.2	22.8	21.5	23.3	21.2	20.6
		標準偏差(S.D)	0.43	0.41	0.36	0.51	0.40	0.47	0.42	0.44	0.42	0.43	0.41	

\* u.c.; 下塗り有り(under coat), \*\* n.u.c.; 下塗り無し(non-under coat), \*\*\*: 未実施 (no data)

を示した。単板厚さ1mmで構成されたLVLのブリネル硬さ分布は、14-31MPaとなり、下限値から見て<sup>137)</sup>、ケヤキ板目面(17.6MPa)には及ばないが、クリ、ミズナラ板目面(10.7MPa)以上の硬さが得られているといえる。このことからLVL化に伴う硬さの向上には、単なる密度の増加だけではなく、圧子面に対する早材部位の分散、晩材部位の増加効果も複合して影響していることが明らかとなった。

3) 塗装されたアカマツLVLのブリネル硬さ

表4.3に塗装, 積層条件とブリネル硬さを示す。LVLを構成する単板厚が減少するほど、用いる上塗り塗料の鉛筆硬度が高いほど、ブリネル硬さは増加する傾向を示した。また、多くの場合、下塗りはブリネル硬さを増加させる効果が認められた。LVL化されていない柱目面であっても、塗装によりブリネル硬さは12-36%増加し、その傾向は概ね塗装されたアカマツLVLの場合と一致した。

図4.8-4.11に、UV-Hを用

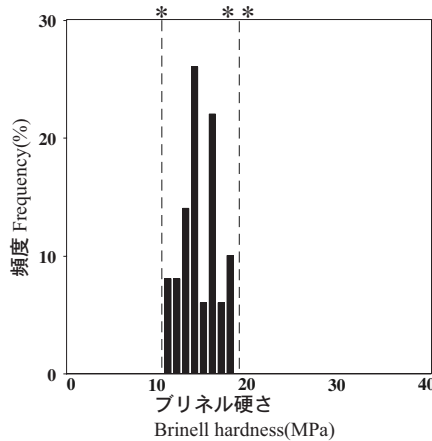


図4.8 UV-H柱目面のブリネル硬さ分布  
Fig.4.8. Distribution of brinell hardness on UV-H-coating edge grain.

\*, \*\* : 図4.2参 Show Fig.4.2

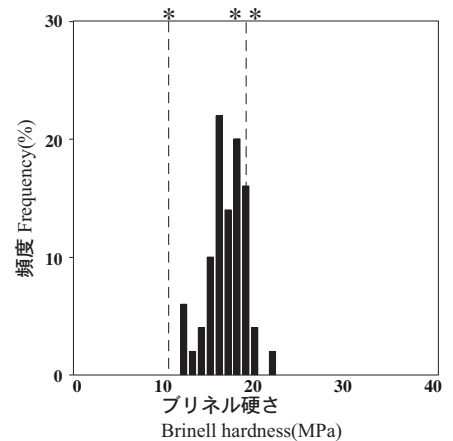


図4.9 UV-H+下塗り柱目面のブリネル硬さ分布  
Fig.4.9. Distribution of brinell hardness on UV-H+under coating edge grain.

\*, \*\* : 図4.2参 Show Fig.4.2

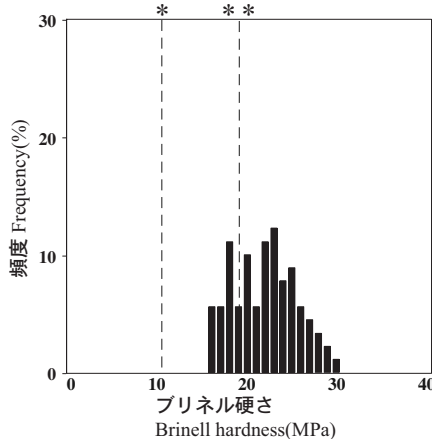


図4.10 UV-H+アカマツLVL(1mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.10. Distribution of brinell hardness on UV-H-coating Akamatsu LVL(1mm).

\*, \*\* : 図4.2参 Show Fig.4.2

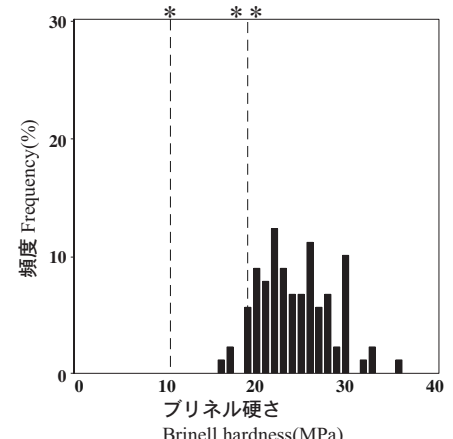


図4.11 UV-H+下塗り+アカマツLVL(1mm)のブリネル硬さ分布  
Fig.4.11. Distribution of brinell hardness on UV-H+under coating Akamatsu LVL(1mm).

\*, \*\* : 図4.2参 Show Fig.4.2

いた場合の、柾目面, 1mmの単板で構成されたLVL表面のブリネル硬さを下塗りの有無別に示す。図4.11のUV-Hを塗布した柾目面と前述の図4.3の無塗装柾目面を比較すると、上塗り塗装のみでも、ブリネル硬さは増加方向にシフトしているのが観察され、さらに塗装条件に下塗りを付加すると、その傾向は増加した。この傾向はLVL化された表面では更に顕著となり、下塗り, 上塗りを行った表面では、その分布は17-36MPaにシフトし、図4.3の無塗装柾目板の10-19MPaと比較すると、約2倍に表面の硬度が上昇したことになる。この値はケヤキ<sup>137)</sup>以上であり、シラカシ<sup>137)</sup>などの硬質広葉樹に匹敵する。

#### 4.2.3 部分圧縮試験

アカマツLVLでは、構成される単板厚が減少するに伴い、部分圧縮強度は増加した。柾目試験体と比較して強度は1.1-1.3倍に増加しているが、これは積層の際、塗布された接着剤による単なる比重の増加が要因であると考えられる。このことから、部分圧縮強度はごく表層の塗装条件の影響を受けず、基材である木材の強度に強く影響されるといえる。

#### 4.2.4 重回帰分析による硬さ付与要因の検討

前述のビッカース硬さ、ブリネル硬さ、部分圧縮強度について、試験体の製造条件と各性能について重回帰分析を行った。目的変量をそれぞれの硬さ試験の値とし、説明変量を、LVLを構成する単板厚さ( $X_1$ )を厚い順に5水準(1:柾目板, 2:5mm, 3:3mm, 4:2mm, 5:1mm)、下塗り( $X_2$ )を有無の2水準(1:無, 2:有)、上塗り塗料の種類( $X_3$ )は鉛筆硬度の柔らかい順に5水準(1:U-P, 2:U-M, 3:U-O, 4:UV-S, 5:UV-H)とし、統計処理ソフト(SPSS 8.0J, SPSS株式会社製)を用いて、有意水準5%、変数増加法で、線形重回帰分析を行った。さらに回帰係数を標準化、比較することにより、説明変量である製造条件がそれぞれの硬さに与える影響を検討した。

結果を以下に示す。Nは試験体数、Rは重相関係数である。

$$\text{ビッカース硬さ} = 2.2X_1 + 3.3X_2 + 7.7X_3 - 10.1 \\ (N = 375), (R = 0.862)$$

$$\text{ブリネル硬さ} = 1.2X_1 + 1.5X_2 + 16.3(N = 4420), \\ (R = 0.391)$$

$$\text{部分圧縮強度} = 1.6X_1 + 17.6(N = 94), (R = 0.777)$$

ビッカース硬さでは、上塗りの影響が最も大きく、ついで単板厚さ、下塗りの有無となった。ブリネル硬さでは、単板厚の影響が大きく、次いで下塗りとなり、上塗りは棄却された。部分圧縮強度では、上塗り、下

塗りは棄却され、単板厚のみが影響していることが明らかとなった。各硬さ試験で得られた重回帰式について、それぞれ分散が1になるように標準化した場合の各説明変量の係数と各試験の荷重、圧子の大きさを比較すると、試験条件において、荷重と圧子の大きさが増加あるいは拡大するにしがたい、硬さに与える影響は塗装条件から、単板厚へシフトしていることは明らかである。

このことから、用途(負荷荷重)により、材料の加工条件を選択すれば、簡易な方法で十分な表面硬度を確保すること可能であると考えられ、テーブル天板など、やや硬さへの要求度が低い場合には、主に塗装による表面硬さの付与を中心に行い、床など、より高い硬さが要求される場合には、鉛筆硬度の高い塗装とLVL化の併用により、必要な硬度を確保できることが明らかとなった。



## 第5章 アカマツ材の防火処理

特殊建築物の木質化に着目し、アカマツ材へ難燃、準不燃材料相当の防火性能が付与されれば、内装材利用による木材使用量の増加が期待できる。

本章では、アカマツ材にリン系薬剤を含浸し、所定の防火性能が得られる薬剤含有量、温冷浴法の処理条件について検討を行い、併せて、難燃処理木材に塗装を施し、防火性能、耐光性および耐湿性に与える影響について評価を行った。

先に1.1.3の1)で述べたように、防火性能の評価方法が2000年に改正となっているため、本研究では、2000年以前に行われた実験(5.3に述べた部分)は、JIS A 1321-1975に基づき、発熱性の指標である $td\theta$ を、2000年以降(5.1および5.2に述べた部分)ではISO-5660-1(ISO 2000)に基づき、総発熱量を防火性能の指標としている。

### 5.1 リン系薬剤を用いて防火処理を行うときのアカマツ材の薬剤含浸性と防火性能

本実験は既に報告<sup>83)</sup>されたものであり、以下その概要を示す。

#### 5.1.1 実験方法

##### 1) 供試材料

岩手県産アカマツ辺材の生材を寸法 $L \times R \times T = 100 \times 15 \times 100\text{mm}$ (同一の丸太, 80体)に調製し、木口をシリコンでシールした。その後、風乾を行うことにより含水率を15-155%に調整した(70体)。また10体はオープンで105°C, 48時間の条件で乾燥し、全乾比重と含水率を算出した後、実験に供した。比較として、スギ心材、カラマツ心材を同様に調製した。

##### 2) 供試薬剤と処理方法

薬剤はリン酸水素二アンモニウム $((\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4)$ 20%水溶液を用いた。供試材への薬液の注入処理は、真空・加圧注入装置を用いた。注入条件は減圧を66hPa, 60min, 加圧を0.78MPa, 60minとした。処理後、試料は室温(18±3°C)で24時間風乾した後、オープンを用い60°C, 80°C, 105°Cと温度を順次上昇させて乾燥を行った。各条件での乾燥時間は24時間とした。薬剤含有量(AC)は下記の式により算出した。

##### (1) 未乾燥試料の場合

$$AC = (W_1 - W_0) \times C / (100 \times V_1)$$

AC : 薬剤含有量 (kg/m<sup>3</sup>)

W<sub>0</sub> : 処理前の試料重量 (kg)

W<sub>1</sub> : 処理直後の試料重量 (kg)

C : 薬剤の濃度 (20%)

V<sub>1</sub> : 処理後乾燥した試料の体積 (m<sup>3</sup>)

また、試料の含水率は以下の式により算出した。

$$U = (W_0 - [W_2 - \{(W_1 - W_0) \times C\}]) / [W_2 - \{(W_1 - W_0) \times C\}] \times 100$$

U : 含水率 (%)

W<sub>2</sub> : 処理後の全乾試料重量 (kg)

##### (2) 全乾試料の場合

$$AC = W_b / V_b - W_a / V_a$$

W<sub>a</sub> : 処理前の試料全乾重量 (kg)

V<sub>a</sub> : 処理前の試料全乾体積 (m<sup>3</sup>)

W<sub>b</sub> : 処理後の試料重量 (kg)

V<sub>b</sub> : 処理後の試料体積 (m<sup>3</sup>)

### 3) 防火性能

性能試験は、原田の報告<sup>124)</sup>と同様にISO-5660-1(ISO 2000)に準拠し、ATLAS社製のcone2a型コーンカロリメーターを用いて、輻射強度50kW/m<sup>2</sup>, 加熱時間10分間の条件で行い、試験開始後5分間及び10分間の総発熱量で材料の性能を評価した。

#### 5.1.2 結果と考察

##### 1) 処理前の木材含水率が薬剤含有量に与える影響

図5.1にアカマツ辺材、スギ心材、カラマツ心材の処理前含水率が薬剤含有量に与える影響を示す。アカマツ辺材について、含水率100%以上では薬剤含有量との相関は見られず薬剤含有量は40-80kg/m<sup>3</sup>となった。含水率100%以下では含水率が低下するとともに、薬剤含有量は増加し、含水率25%以下で薬剤含浸量は150-170kg/m<sup>3</sup>となった。また含水率の低下とともに薬

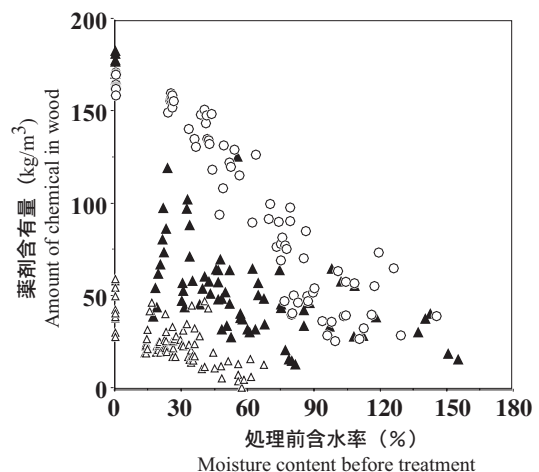


図5.1 処理前含水率と薬剤含有量の関係

Fig.5.1 Relationships between moisture content before treated and amount of chemicals of sugi, akamatsu and karamatsu.

Legend

▲ : スギ心材 Sugi hart wood

○ : アカマツ辺材 Akamatsu sap wood

△ : カラマツ心材 Karamatsu hart wood

剤含有量のバラツキも低下した。

スギ心材は、アカマツと比べバラツキは大きく、カラマツ心材は、含水率0%であっても、薬剤含有量は30-60kg/m<sup>3</sup>しか得られず、アカマツ辺材と比べ、薬剤含有量が明らかに少なかった。

以上から、アカマツ辺材へ真空加圧含浸装置を用いた薬剤注入処理を行う際、含浸処理前に乾燥を行い、仮道管内孔の自由水が無くなる繊維飽和点を目標に、含水率を30%以下するのが望ましいと考えられた。

2) 薬剤含有量と防火性能の関係

図5.2にアカマツ辺材、スギ心材、カラマツ心材の薬剤含有量と総発熱量の関係を示す。アカマツ辺材では、薬剤含有量が増加すると総発熱量は減少し、難燃材料（加熱時間5分間）、準不燃材料（加熱時間10分間）の基準を充たした薬剤含有量は、それぞれ120kg/m<sup>3</sup>以上、150kg/m<sup>3</sup>であった。

スギ心材では、アカマツと同様の傾向を示し、難燃材料では100kg/m<sup>3</sup>以上、準不燃材料では140kg/m<sup>3</sup>の薬剤含有量が必要となった。カラマツ心材では、薬剤含有量が最大でも60kg/m<sup>3</sup>しか得られず、5、10分間の総発熱量は14.0、40.0MJ/m<sup>2</sup>となり、難燃、準不燃材料のどちらの基準も満たすことは出来なかった。

3) 薬剤処理前の木材含水率が薬剤含有量と防火性能に及ぼす影響

スギ心材、アカマツ辺材について、表5.1に処理前含水率域ごとの薬剤含有量と防火性能を示す。

スギ心材の薬剤含浸性は、含水率が低下すると薬剤含浸性が向上したが、標準偏差は13-25に分布し、全乾試料では7.1と急減し、全乾試料とそうでない試料で傾向が異なった。一方、アカマツ辺材では、含水率と薬剤含浸量の関係はスギと同様であるが、標準偏差

は含水率30%以下で急減している。これはアカマツ材の乾燥過程で、材内の自由水の分布が、スギに比べ、均等になることに起因し、材内の薬剤の分布が平均化されたためであると考えられる。

10分間の総発熱量と薬剤含有量の関係を見ると、これまででもいわれている<sup>109)</sup>ように、防火性能は薬剤含有量に大きく支配される傾向を示し、スギ心材では処理前含水率0%のサンプルのみが、アカマツ辺材では処理

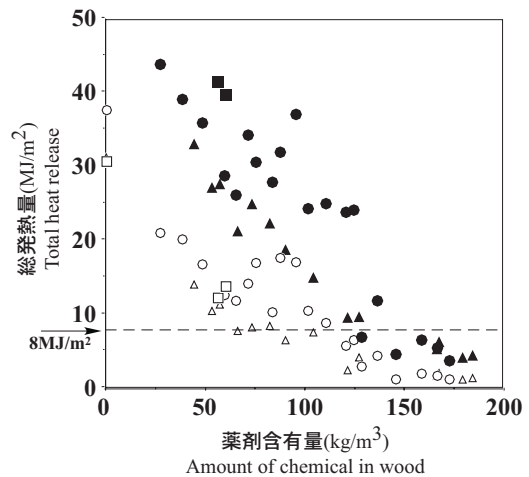


図5.2 薬剤含有量と総発熱量の関係  
Fig.5.2 Relationships between Amount of chemicals of Sugi, Akamatsu, karamatsu and total heat release.

- Legend
- △：スギ心材, 加熱時間5分間  
Sugi hart wood , heat time at 5min.
  - ▲：スギ心材, 加熱時間10分間  
Sugi hart wood , heat time at 10min.
  - ：アカマツ辺材, 加熱時間5分間  
Akamatsu sap wood , heat time at 5min.
  - ：アカマツ辺材, 加熱時間10分間  
Akamatsu sap wood , heat time at 10min.
  - ：カラマツ心材, 加熱時間5分間  
Karamatsu hart wood , heat time at 5min.
  - ：カラマツ心材, 加熱時間10分間  
Karamatsu hart wood , heat time at 10min.

表5.1 処理前含水率が薬剤含有量と防火性能（総発熱量）に与える影響  
Table 5.1. Effects of moisture content before treated on amount of chemical in wood and total heat release.

樹種 Species	処理前木材含水率 (%) Moisture content before treatment	薬剤含有量(kg/m <sup>3</sup> ) Amount of chemical in wood			10分間加熱の総発熱量(MJ/m <sup>2</sup> ) Total heat release at 10min		
		平均 AV.	標準偏差 SD.	(n)	平均 AV.	標準偏差 SD.	(n)
スギ心材 Sugi heart wood	0	173.4	7.1	(10)	5.3	1.0	(4)
	1~30	73.8	24.8	(10)	16.1	—	(2)
	30~70	56.3	20.9	(38)	19.7	6.5	(6)
	70~100	37.8	17.9	(12)	30.6	—	(2)
	>100	36.4	13.9	(20)	—	—	(0)
アカマツ辺材 Akamatsu sapwood	0	166.4	4.1	(10)	4.9	—	(2)
	1~30	157.3	3.0	(10)	6.8	—	(1)
	30~70	128.5	18.3	(22)	19.3	11.7	(7)
	70~100	63.4	22.5	(25)	34.2	6.6	(7)
	>100	49.0	15.2	(13)	28.7	2.2	(3)

前含水率 30%以下のサンプルで総発熱量は基準値 8MJ/m<sup>2</sup>以下を満たした。

以上のことから、アカマツ辺材は処理前含水率 30 ~ 100%域で薬剤含有量が低く、注入される量も不安定であるが、処理前含水率が繊維飽和点以下では、薬剤含有量が多くなり、総発熱量の基準を満たす防火性能が安定して得られることが明らかとなった。

## 5.2 開放型の薬液槽を用いた浸漬によるアカマツ材の難燃化処理

防火性能の付与はリン系、ホウ素系薬剤を一定量木材中へ含浸し、その際には、真空加圧含浸装置などが用いられる。しかし、防火処理の様な化学加工された木材は、岩手県内では一般建材のように大量に生産されることは少なく、小ロットで受注生産されているのが現状である。したがって、その製造において、設備費を抑制し、且つ高い防火性能を付与できる技術の開発は重要である。簡易な設備により薬剤を木材中へ含浸させる方法として、浸漬法が挙げられる<sup>24,25)</sup>。この方法は開放型の薬液槽を用い、薬液中に木材を沈め、薬液を木材中へ含浸させる手法である。この方法には、冷浴、温浴、温冷浴法があり、薬剤含浸性は、温度条件、処理前含水率、樹種、薬液の濃度、心辺材、断面積で大きく異なることが知られている<sup>24)</sup>。

本節では、アカマツ辺材の乾燥、未乾燥材を用い、冷浴、温浴、温冷浴法を用いた際の薬剤の含浸性について述べた後、アカマツ難燃材、準不燃材の製造を想定し、市販リン系薬剤を用いて、温冷浴法により処理を行う際、薬液濃度、心辺材の部位および板厚が薬剤含有量

へ与える影響について検討を行った。

### 5.2.1 実験方法

#### 1) 含浸方法の検討

##### a) 供試材料と薬剤

岩手県産アカマツ辺材の生材を同一丸太から 35 体、寸法 L × R × T = 40 × 20 × 20mm に調製し、内 20 体はオーブンで 105℃、48 時間の条件で乾燥して実験に供した。薬剤には(株)丸菱油化社製 OK-201 (主成分はポリリン酸カルバメート) を、原液 (不揮発成分 55%) で供した。

##### b) 薬剤含浸方法

含浸は真空加圧含浸、冷浴法、温浴法、温冷浴法の 4 条件で行い、真空加圧含浸には全乾試料を用い、それ以外は、生材、全乾試料の両方を用いた。真空加圧含浸は 5.1.1 の 2) の方法に準拠し、処理条件を減圧 30hPa, 1 時間、加圧 0.49MPa, 1 時間とした。また、冷浴法は試料を薬剤に浸漬し、条件は 18 ± 3℃, 24 時間とし、温浴法は試料を薬剤に浸漬し、条件を 60℃, 24 時間とした。温冷浴法では試料を蒸留水により 3 時間煮沸し、その後、18 ± 3℃, 24 時間薬液に浸漬した。処理後の乾燥、薬剤含有量の算出は、5.1.2 の 2) の方法に準拠して行った。なお、各条件で供試数は 5 体とした。

#### 2) 難燃材料、準不燃材料の基準を満たす含浸条件の検討

##### a) 供試材料と薬剤

供試材料は、アカマツ心、辺材を製材し、寸法を長さ 230mm, 幅 135mm, 厚さ 4, 10, 15mm に調製し、オーブンで 105℃, 48 時間の条件で乾燥して実験に供した。なお、供試材料詳細は表 5.2 に示す。

表5.2 温冷浴法の条件  
Table5.2 Condition of hot-cold process

板厚(mm) thickness	心辺材 Heart and sap wood	比重 Density		試験体数 Number of samples	煮沸時間 Hot bath process time (hrs)	冷浴 Cold bath process		
		A.V	S.D			濃度 Conc. (%)	温度 Temp. (°C)	浸漬時間 Hold time (hrs)
15	辺材 Sapwood	0.42	0.03	96	3	11-55	25	24
	心材 Heart wood	0.47	0.04	20	2	16-55	25	24
10	辺材 Sapwood	0.47	0.04	96	2	16-55	25	24
	心材 Heart wood	0.44	0.01	12	1	55	25	24
4	辺材 Sapwood	0.47	0.03	12	1	55	25	24
	心材 Heart wood							

薬剤は(株)丸菱油化社製 OK-201 (主成分はポリリン酸カルバメート) を用い、原液 (不揮発成分 55%) を蒸留水で 11-55% に希釈し、実験に供した。

#### b) 薬剤含浸方法

温冷浴法は 5.2.1 の 1) に準拠し、試料を蒸留水により 1-3 時間煮沸し、その後、薬液に浸漬した。なお、浸漬処理はオープン内で行い、25°C、24 時間とした。処理後の乾燥、薬剤含有量の算出は、5.1.1 の 2) の方法に準拠して行った。

### 5.2.2 結果と考察

#### 1) 含浸方法の検討

従来行われている温冷浴法は、薬液中に木材を浸漬し、加熱、冷却するものであるが、今回の実験では、水中にアカマツ材を浸漬し、煮沸した後、薬液中で冷却、含浸を行った。これは、薬液中にアカマツを沈めて加熱を行うと、材からヤニが滲出して薬液が汚染されること、および冷却の際、薬液中でリンが結晶化して沈殿するのを防ぐためである。

表 5.3 に含浸法別の薬剤含有量を示す。乾燥材を用いた場合、真空加圧含浸では薬剤含有量が 454kg/m<sup>3</sup> となり、冷浴、温浴、温冷浴法では 107, 173, 217kg/m<sup>3</sup> となった。生材を用いた場合、冷浴、温浴、温冷浴法では薬剤含有量が 228, 303, 212kg/m<sup>3</sup> となり、乾燥材を用いた場合と比較して、薬剤含有量は大きく異なった。冷浴、温浴法の場合、生材の薬剤含有量が大きく、温冷浴法の場合は乾燥材、生材によらず薬剤含有量が約 210kg/m<sup>3</sup> を示した。このことから、含浸法によっては、木材含水率は薬剤含有量に影響を与えるが、温冷浴法を用いれば、材料の水分状況によらず、安定した薬剤含有量が期待できることが明らかとなった。

温冷浴法が含水率の影響を受けなかったことに関しては、煮沸処理により、木材中の空気や水分が膨張によって排出され、薬液浸漬により膨張した空気や水分が冷却、収縮することで、木材内に負圧が発生<sup>24)</sup> したことによると考えられる。また、熱、濃度勾配により、薬剤が木材中の水分へ拡散する効果<sup>27)</sup> も併せて考えられる。

#### 2) 難燃材料、準不燃材料の基準を満たす含浸条件の検討

図 5.3 に薬液濃度と薬剤含有量の関係を心辺材の部位、板材厚さ別に示す。薬液の濃度の増加に伴い、薬剤含有量は増加する傾向を示した。心材と比較して、辺材の含浸性は高く、また、板厚が薄いほど高い含浸性を示した。厚さ 10mm の心材において、濃度 38.5% で処理された試料の薬剤含有量は 113kg/m<sup>3</sup> を示し、原田ら

表5.3 含浸法別の薬剤含有量

Table 5.3 Relationships between impregnation method and amount of chemical in wood.

供試材料 Samples	含浸法 Impregnation method	薬剤含有量 (kg/m <sup>3</sup> ) Amount of chemical in wood	標準偏差 S.D
乾燥材 Dry wood	真空加圧含浸 Impregnated vacuum and pressure	454	14
	冷浴 Dipping (cold)	107	30
	温浴 Dipping (hot)	173	16
	温冷浴 Dipping (hot and cold)	217	10
	生材 Green wood	冷浴 Dipping (cold)	228
生材 Green wood	温浴 Dipping (hot)	303	12
	温冷浴 Dipping (hot and cold)	212	4

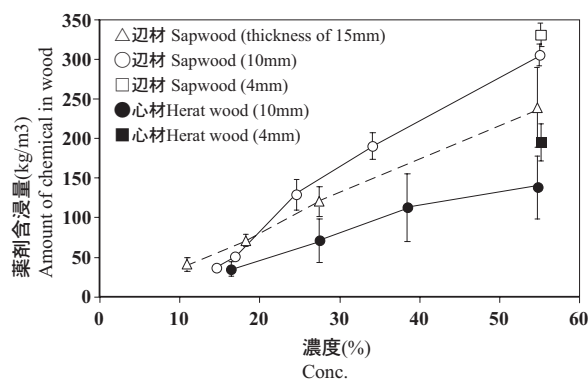


図5.3 心辺材、板厚、濃度と薬剤含浸量の関係

Fig.5.3 Relationship between herat wood, sap wood, thickness, concentrations of chemicals, and amount of chemical in wood.

注) 凡例のバーは標準偏差を示す。

Note: Bar is Standard deviation

の報告<sup>5)</sup>にある難燃材料相当の防火性能に必要な薬剤含有量 85kg/m<sup>3</sup> を満たしていた。このことは、製造上で一定量の薬剤を確保する場合、心材の薬剤含有の度合いを基準として処理を行えば、辺材の薬剤含有量は確保されると見なすことができ、煩雑な品質管理が軽減されることを示す。また、辺材においては、厚さ 10 mm、濃度 34.1, 55% で薬剤含有量 190, 305kg/m<sup>3</sup> を示し、厚さ 15 mm では濃度 27.5, 55% で薬剤含有量 120, 239kg/m<sup>3</sup> を示した。準不燃材料相当の防火性能に必要な薬剤含有量 120kg/m<sup>3</sup> 以上であり、濃度 27.5-55% の範囲内で薬剤処理を行えば準不燃材料の製造も可能であることが明らかとなった。

このことから、温冷浴法により、アカマツ材を防火処理する際、厚さ 10mm 以下の板材を用いれば、難燃材料を製造することが可能であり、辺材を選択的に用いれば、準不燃材料の製造も可能であることが明らかとなった。



### 5.3 防火処理木材の防火性, 耐光性および耐湿性に与える塗装の影響

防火処理木材は, 一般に紫外線により変色しやすい<sup>27, 119)</sup>といわれているため, ここで開発された製品も化粧性が保持されないおそれがある。含浸薬剤として用いたリン酸系化合物は, 酸性で吸湿性の高い物質<sup>119)</sup>であり, このような薬剤を木材に含浸した場合, 紫外線による材料表面の変色が考えられる。また施工後, 湿度変化により材料表面が変色し, 薬剤が析出する可能性がある<sup>119)</sup>。材料の吸放湿に伴う薬剤析出の問題については, 森本<sup>121)</sup>による報告があり, 防火処理を行った際の大きな問題であると考ええる。本節ではこれらの問題を解決するための方策として, アカマツ防火処理木材に簡易な操作で塗装処理を施し, 防火性, 光反射特性, 耐光性および耐湿性を付与する方法について検討した結果を述べる。

本実験は既に報告<sup>76, 79)</sup>されたものに補筆を行ったものである。以下に概要を示す。

#### 5.3.1 実験方法

##### 1) 供試材料

供試材料として, 寸法 L × R × T = 220 × 15 × 110 mm および 230 × 15 × 135mm の岩手県産アカマツ材の辺材を調製し, 全乾し供試した。

##### 2) 供試薬剤と処理方法

薬剤は(株)丸菱油化社製 OK-201 (主成分はポリリン酸カルバメート, 不揮発成分 55%) を用い, を蒸留水で 11-55% に希釈し, 実験に供した。

供試材への薬液の含浸には温冷浴法を用い, アカマツ辺材を水中で 3 時間煮沸し, その後, 25℃, 24 時間薬液に浸漬した。処理後, 試料は室温 (18 ± 3℃) で 24 時間の条件で風乾した後, オープンを用い 60℃, 80℃, 105℃ と温度を順次上昇させて乾燥を行い, 各条件の乾燥時間は 24 時間とした。なお, 薬剤含有量は下記の式により算出した。

$$\text{薬剤含有量 (kg/m}^3\text{)} = W_b/V_b - W_a/V_a$$

W<sub>a</sub> : 処理前の試料全乾重量 (kg)

V<sub>a</sub> : 処理前の試料全乾体積 (m<sup>3</sup>)

W<sub>b</sub> : 処理後の試料重量 (kg)

V<sub>b</sub> : 処理後の試料体積 (m<sup>3</sup>)

##### 3) 塗装

塗装には, 市販塗料 3 種類を用いた。下塗りは, 各塗料専用のサンディングシーラーをスプレーガンにより塗布し, 室温約 20℃ で 24 時間乾燥の後, 320 番の研磨紙を用いて空研ぎした。上塗り (表 5.4) は各塗料をスプレーガンにより塗布し, 塗布量を 37-151 g/m<sup>2</sup> に調

表 5.4 塗装条件  
Table 5.4 Coating conditions

塗装名 Coating terms	塗料 Coating types	塗布量 (g/m <sup>2</sup> ) Amount of coating	薬剤含有量 (kg/m <sup>3</sup> ) Amount of chemical in wood
無塗装 Paintless	—	0	0 - 302
木肌塗装 KIHADA coating	アクリルビーズ+ポリブタジエン Acrylic beads+Polybutadiene resin	48 - 151	0 - 275
ウレタン塗装 Poly urethan resin coating	2液性ウレタン 2 part urethane resin	48 - 151	0 - 251
ラッカー塗装 Nitrocellulose lacque coating	ニトロセルロースラッカー Nitrocellulose lacque	37 - 122	0 - 257

整した。塗装後, 乾燥は室温で行い, 塗膜の固化を確認した後, 各試験に供した。

##### 4) 燃焼試験

試験は JIS A 1321-1975 の難燃材料の試験基準に準拠し, 建築材料燃焼性試験装置 (株式会社東洋精機製作所製) を用いて行った。試験時間は 6 分間とし, 燃焼性の評価には, 発熱性の指標 td θ を用いた。

##### 5) 反射光分布の測定

反射光分布は(株)村上色彩社製 三次元変角光度計を用い, 各試料の木目方向に投光し, 入射角 45°, あおり角 0° で得られる反射光の角度, 強度を測定した。

##### 6) 耐光性試験と耐湿性試験

耐光性試験として, (株) SUGA 製ロングライフウェザーメーターを用い, JIS-K-54009.8 に準拠し試験を行った。光源にはキセノンランプ (波長: 300-400nm) を用いた。試験時間 25-150 時間ごとに試料を抜き取り, 測色計を用いて, 色差測定を行った。また, 変色の評価は無処理材を基準とし, 防火処理, 塗装, 促進劣化試験の経時変化による ΔE\* と比較した。

耐湿性試験は, (株) SUGA 製温度差劣化試験機を用い, JIS-K-54009.2 に準拠して行った。実験条件は温度 50℃, 湿度 95% とし, 試験時間, 色差測定は耐光性試験と同様に行った。

#### 5.3.2 結果と考察

##### 1) 塗装が防火性能へ与える影響

図 5.4 に塗装, 無塗装の試料の薬剤含有量と td θ の関係を示す。薬剤含有量 150 kg/m<sup>3</sup> 以下のとき, 塗装試料の td θ は, 無塗装の試料に比べ, 最大で約 100℃・min 高い値を示すが, 薬剤含有量 150 kg/m<sup>3</sup> 以上では 0℃・min となり, 難燃材料相当の性能が得られた。

防火処理薬液の処理濃度別の塗布量と td θ の関係を解析すると, 十分に薬剤含有量が確保されない場合は, 塗布量の増加により, 防火性能が低下する恐れがある

が、難燃材料の場合、150 kg/m<sup>3</sup>以上の薬剤含有量が確保されれば、可燃系樹脂による塗装が防火性能へ与える影響は無いものと考えられた。

2) 塗装別試料の光照射時間による色差の変化

図5.5に処理による変色の経緯と耐光性試験による試験時間と色差の関係を示す。アカマツ辺材を処理し、塗装を行うと木材表面の濡れ性が向上し、 $\Delta E^*$ が4.2-13.6増加した。

照射時間の増加とともにウレタン、ラッカー塗装は著しく褐変し、照射時間の増加に伴い、 $\Delta E^*$ は増加した。一方、木肌塗装では変色が少なく、照射150時間でも $\Delta E^*$ は15.4と、塗装条件の差が色差に大きく影響し

ていることは明らかである。そこで、塗膜表面の光反射による影響を検討するため、各試料について、表面の反射光分布の測定を行った。図5.6に塗装別の反射光分布を示す。無塗装の反射光分布の形状は、ほぼ球状となった。細胞内孔に起因する凹形が受光角全域で光を散乱していることが理由である。これに対し、光沢のある塗膜を形成するウレタン、ラッカー塗装では、

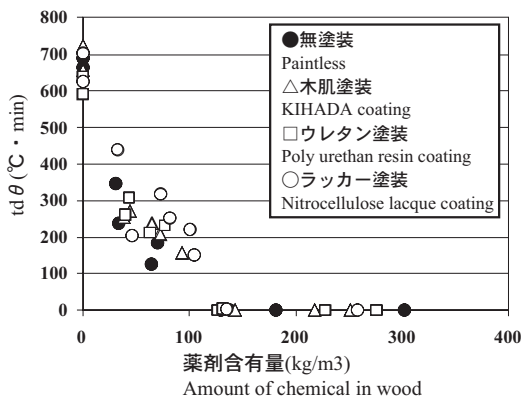


図5.4 塗装別の薬剤含有量とtdθの関係  
Fig.5.4 Relationship between amount of chemical in wood and tdθ.

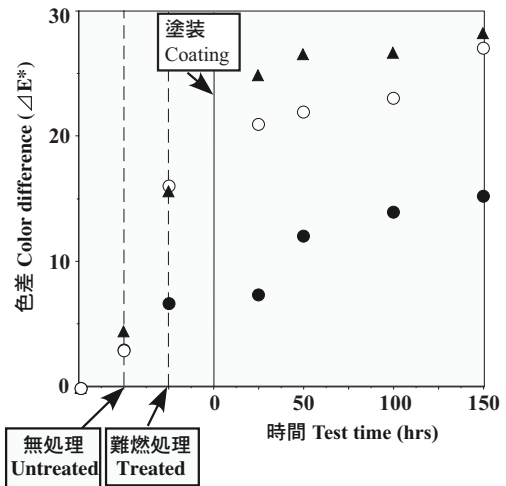


図5.5 耐光性試験による時間と色差の関係  
Fig.5.5 Relationship between test time of light stability resistance and color difference.  
Legend  
●:木肌塗装 KIHADA coating  
○:ウレタン塗装 Poly urethane resin coating  
▲:ラッカー塗装 Nitrocellulose lacque

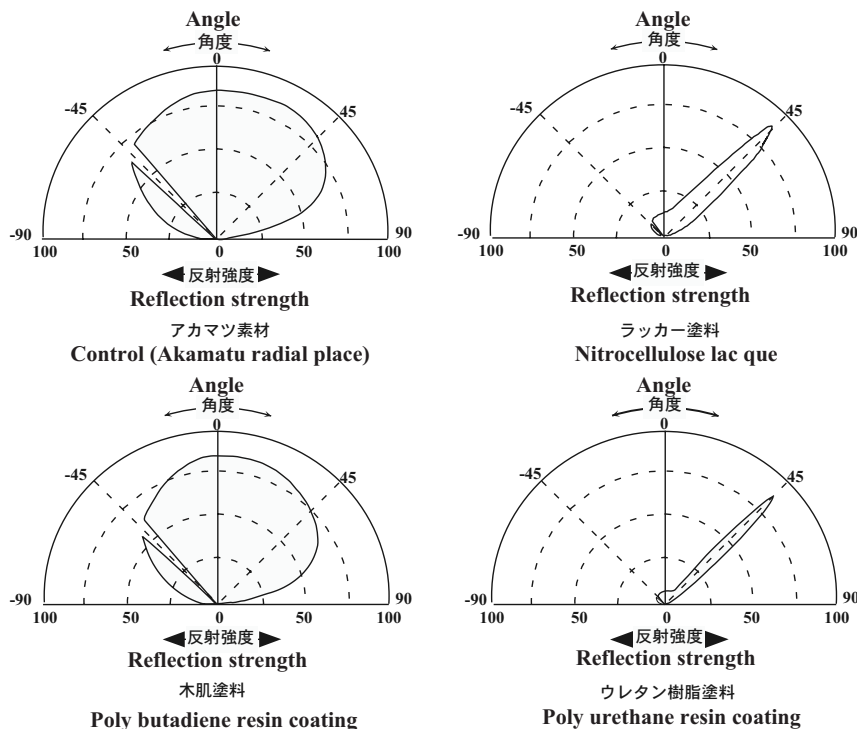


図5.6 塗装の種類と光反射特性の関係  
Fig.5.6 Effect of coatings on characteristic of photo-reflection.

受光角 45° 付近の鏡面反射による尖ったピークだけとなった。これと類似する反射光分布にはプラスチックや金属表面などがある<sup>135)</sup>。造膜タイプであるにもかかわらず、木肌塗装は無塗装と類似したほぼ球状の反射光分布を示した。これは、塗料に含有されているアクリルビーズが塗膜表面で分散され、光を乱反射していることが要因である。このことから、木肌塗装は塗膜表面で光を乱反射させるため、木材表面に到達する紫外線量が少ないことが推測され、変色が他の条件より少なかったと考えられる。

3) 耐湿性試験による変色と薬剤の析出

図 5.7 に耐湿性試験による試験時間と色差の関係を示す。吸湿による  $\Delta E^*$  の増加が大きかったのはラッカー塗装、ウレタン塗装で、試験時間の増加に伴い、 $\Delta E^*$  は 13-21 に増加した。一方、木肌塗装は変色が少なく、紫外線照射 150 時間でも  $\Delta E^*$  は 12 であった。次に耐湿試験 150 時間後の試料表面の様子を写真 5.1, 5.2 に示す。変色が大きかったラッカー塗装の試料表面では、材片部、材面から薬剤析出が顕著に観察された。一方、木肌塗装、ウレタン塗装では著しい薬剤析出が観察されなかった。このことについては、ウレタン塗装で薬剤が析出しなかったのは、薬剤析出の力が塗膜を破壊できなかったためと考える。

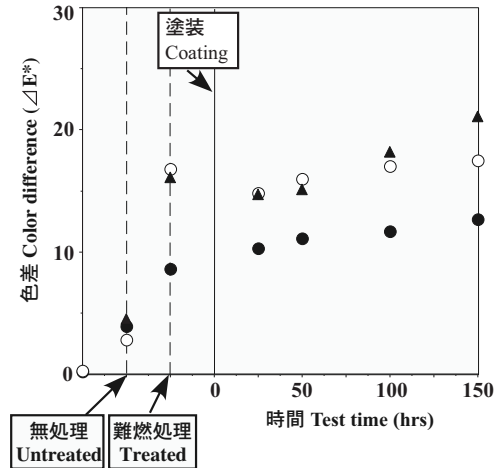


図5.7 耐湿性試験による時間と色差の関係  
Fig.5.7 Relationship between test time of moisture proof and color difference.

Legend  
●:木肌塗装 KIHADA coating  
○:ウレタン塗装 Poly urethane resin coating  
▲:ラッカー塗装 Nitrocellulose lac que

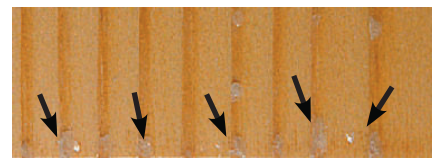


写真5.1 テーパー部の薬剤の噴出  
Photo.5.1 Discharge chemicals on the corner of samples  
塗料：ニトロセルロースラッカー  
Coating type: Nitrocellulose lac que  
耐湿性試験150hrs  
Moisture proof test time: 150hrs

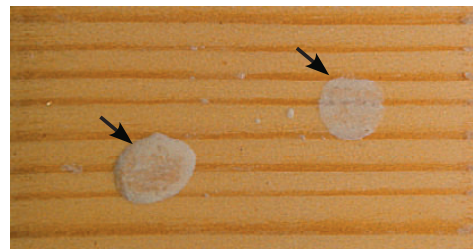


写真5.2 大きな薬剤の噴出  
Photo.5.2 A heavy discharge chemicals  
塗料：ニトロセルロースラッカー  
Coating type: Nitrocellulose lac que  
耐湿性試験150hrs  
Moisture proof test time: 150hrs

## 第6章 総括

本論文では、岩手県に豊富に存在するアカマツ資源の利用に着目し、その需要が停滞する要因として、青変被害による通年出荷体制の不備、製材品の低い収益性を挙げた。そして、アカマツ材の新しい需要創出に資することのできる技術開発を目標とし、特にアカマツ内装材の高付加価値化による利用技術開発に着目して、現状における課題の抽出とその解決に資する研究を行ったものである。

第1章では、岩手県のアカマツ林産業の中での本研究の背景と既往の研究を概説し、本論文の内容を示した。

第2章では、アカマツ材を内装材として利用するにあたり、化粧性を大きく損ない、通年出荷を妨げる青変被害について原因菌の分離を行い、青変菌の生育条件や変色進展要因に関する解析のため、青変菌の菌糸伸長と青変伸展に及ぼす温度、水分活性、酸素濃度の影響を検討した。その結果、青変の至適温度は25℃であり、水分活性、酸素濃度の減少により、菌糸伸長、青変速度が著しく減少することを明らかにした。また、アカマツ材において、青変は、酸素、水分を確保できる含水率域50～150%では伸展するが、含水率150%以上では酸素が、含水率50%以下では水分が確保できず抑制されることを明らかにした。

第3章では、青変被害の形態とその防止方法について検討を行った。青変には木口への菌の付着によるものと樹皮下キクイムシの穿孔により材面に菌が持ち込まれるものに大別され、特に樹皮下からの青変被害が大きかった。このことから、青変被害の主要因は樹皮下キクイムシの穿孔であるといえた。また、青変被害が春から夏にかけて顕著に発生するのは樹皮下キクイムシの産卵時期に重なることによるものであることを明らかとした。一方、樹皮下キクイムシの穿孔を受けることにより、材に菌が付着しても、青変被害が発生するには、2-4週間の時間が必要であった。これらのことから、青変防止には樹皮下キクイムシの穿孔とその他の菌類の付着を阻止、妨害を行うため、伐採直後に防虫剤、防カビ剤の散布を試み、青変被害を防止する方法を開発した。また、薬剤の青変防止効果の評価手法の開発、薬剤を使用しない青変防止方法の検討、薬剤散布経費の算出も行った。本研究により、青変被害の形態とその防止方法が明らかとなったため、アカマツの通年出荷体制の構築において、技術的には青変被害の防止が可能となる。

また、アカマツの通年出荷を妨げるまでに青変被害が拡大したのは、施業上で発生する伐採・集材時の樹皮の損傷・汚染、流通上で発生する素材生産者、製材業者の青変発生時期の認識のズレによる貯木期間の長期化、加工上での青変被害に対する誤った認識による未乾燥材供給、薬剤開発における青変被害の評価方法の不整備など、人為的な要因も大きい。この状況を招いた要因は、青変被害の拡大様式が不明であったためと考えられ、本研究で得られた知見は、これらの問題解決の観点からも重要である。

第4章では、差別化できる商品の開発例として、傷の付きにくいアカマツ内装材料を開発するため、床材などを用途とした材質改良による表面硬度に関する研究を行った。アカマツ材の硬さは早材部、晩材部の部位によって大きく異なり、早材部はスギなどの軟質材と同様の値を示すが、晩材部はミズナラ、クリなどの広葉樹と同様の値を示す。軟質な早材部の硬度向上を行う際には、樹脂処理、圧密処理などが挙げられるが、設備投資を行うことができない小規模工場では薬剤や特殊装置を用いた改質は困難であると考え、既存の設備を用いた改質として軟質早材部をLVL化により分散させ、その積層面を表面とした材料に塗装を行い、積層、塗装条件が、表面硬さに与える影響について検討を行った。その結果、表面硬さは、無処理板目面を基準とすると、LVLを構成する単板の条件により25～58%性能が向上し、塗装では12～36%となった。最終的にこれらを併用することにより最大1.8倍の表面硬度が得られた。このことは、ミズナラ、クリ相当の硬度が得られることを意味する。

第5章では、民間住宅以外の需要の新規開拓として、公的(特殊)建築物の内装の木質化に着目し、薬剤処理によるアカマツ材への防火性能の付与を行った。アカマツ材を含水率30%以下とし、防火薬剤としてリン酸水素二アンモニウムを用い、薬剤含浸に真空加圧含浸装置を用いた場合、アカマツ材が難燃材料相当の防火性能を得るためには薬剤含有量120kg/m<sup>3</sup>以上が必要となり、準不燃材料では150kg/m<sup>3</sup>以上となった。次に性能発現に必要な薬剤含有量を得る手段として、真空加圧含浸装置を用いず、開槽を用いた含浸方法の検討を行った。その結果、アカマツ生材を煮沸した後、薬液槽に浸漬する温冷浴法が有効であることが明らかとなった。酸性のリン系薬剤で処理された木材は、太陽光による変色、湿度変化による薬剤析出が問題とされているため、3種類の塗装処理を行い、塗装防火処理木材の燃焼性能、耐光性、耐湿性について検討を行った。



その結果、難燃材料相当の薬剤含有量があれば、塗装による防火性能の低下は観察されず、塗膜表面にアクリルビーズが分散された塗装防火処理木材は最も変色が少なかった。また、高温化で薬剤析出を最も抑制したのはウレタン塗装であった。このことから、特殊な加工装置を用いずに耐光性、耐湿性に優れた防火処理木材を製造することが可能となった。

アカマツはこれまで、青変による通年出荷の阻害、輪生節による強度低下の危惧、用途の半分以上がパルプチップであるため収益性が低いなどの理由で、その利用、研究は進展していなかった。この研究を通して、アカマツは輪生節間では節が無く、材色が白色で化粧性が高いこと、辺材部が多いため薬剤の含浸性が良好で化学処理が簡易に行えることなどの長所を改めて認識させられ、アカマツは、さらなる可能性を秘めた森林資源と感ずるところである。本論文ではアカマツ内装材の利用技術について、青変被害防止、材質改良による高付加価値化について論じたが、さらなるアカマツの利用促進のためには、構造用材と内装材を併せた利用技術の開発が必要と考える。構造用材の利用については、低コストで且つ品質が保証された材料の開発、設計、施工まで視野に入れた部材の開発など、今後の課題は多いと考える。最後に本研究の成果がアカマツ林業の発展のための一助になることを期待して総括とする。

## 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、多大なるご支援、ご指導いただいた、秋田県立大学木材高度加工研究所 飯島泰男 教授、筑波大学 土居修一 教授、秋田県立大学木材高度加工研究所 谷田貝光克 教授、栗本康司 准教授に厚く御礼申し上げます。

研究を進めるにあたり、ご指導、ご助言いただいた岩手大学農学部 澤辺 攻 教授、関野 登 教授、独立行政法人森林総合研究所 上杉三郎 氏、原田寿郎 氏、森林総合研究所 升屋勇人 氏、岩手県工業技術センター 穴沢 靖 氏に深く感謝いたします。

研究実施にご協力いただいた岩手県林業技術センター各位、また、筆者が木材に関する研究に携わったときからご指導いただいた岩手県林業技術センター林産利用部長 東野 正 氏に厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) Cserjesi AJ, Roff JW : Toxicity test of some chemicals against certain wood-staining fungi., *Int. Biodetn Bull.* 11 (3), 90-96 (1975).
- 2) Dickinson DJ : The effective control of blue-stain and mould on freshly-felled timber., *Holzforchung* 31 (4), 121-125 (1977).
- 3) Edlund ML, Henningsson B : Field and laboratory studies on anti-sapstain preservatives., *Int. Journal of Wood Preservation*, 2 (3), 107-118 (1982).
- 4) H Taniuchi, T Koiwa, H Masuya, S Doi : Efficacies of an insecticide and a fungicide for preventing blue-stain of Japanese red pine logs, THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION, IRG/WP 06-20329 (2006).
- 5) Harada T., S. Uesugi, H. Taniuchi : Evaluation of fire-retardant wood treated with poly-phosphatic carbamate using a cone calorimeter., *Forest products journal* 53 (6), 81-85 (2003).
- 6) Harrington TC : *Biology and taxonomy of fungi associated with bark beetles.*, Academic Press, London, 1993, p.37-58.
- 7) Hayato Masuya, Shigeru Kaneko, Yuichi Yamaoka : Comparative virulence of blue-stain fungi isolated from Japanese red pine, *Journal of Forest Research* 8, 83-88 (2003).
- 8) Hirata T., Y. Fukui, S. Uesugi, and H. Abe : Combustion properties of wood treated with chemicals 1. Surface flammability and smoke evolution, *J. Jap. Wood Res. Soc.* 27 (4), 318-330 (1981).
- 9) Hironori TANIUCHI, Toshiyuki KOIWA, Hayato MASUYA, Shuichi DOI : Efficacies of an insecticide and a fungicide for preventing blue-stain of Japanese red pine logs, THE INTERNATIONAL RESEARCH GROUP ON WOOD PROTECTION, IRG/WP 06-20329, (2006).
- 10) Hironori Taniuchi : Surface Hardening Technique For Soft Wood Products For Interiouse, 5th Pacific Rim Bio Base Composite Symposium, *Proceedings*, p.775 (2000).
- 11) Masuya H, Kaneko S, Yamaoka Y : Blue stain fungi associated with *Tomicus piniperda* on Japanese red pine., *Journal of Forest Research* 3, 213-219 (1998).
- 12) Paine TD, Raffa KF, Harrington TC : Interactions among scolytid bark beetles, their associated fungi, and live host conifers., *Annual Review of Entomology* 42, 179-206

- (1997).
- 13) Patrizia Zink, Dietrich Fegler : Studies on Colouring Matter of Blue-stain Fungi, *Holzforschung*42, 217-220 (1988).
  - 14) Seifert K A : Sapstain of commercial lumber by species of *Ophiostoma* and *Ceratocystis*., APS Press, St. Paul, Minnesota, 1993, p.141-151.
  - 15) Whitney HS : Relationships between bark beetles and symbiotic organisms., The University of Texas Press, Austin, 1982, p. 183-211.
  - 16) Yamaoka Y, Wingfield MJ, Ohsawa M, Kuroda Y : Ophiostomatoid fungi associated with *Ips cembrae* in Japan and their pathogenicity to Japanese larch, *Mycoscience* 39, 367-378 (1998).
  - 17) Yamaoka Y, Wingfield MJ, Takahashi I, Solheim H : Ophiostomatoid fungi associated with the spruce bark beetle *Ips typographus* f. *japonicus* in Japan, *Mycological Research*101, 1215-1227 (1997).
  - 18) 青島清雄, 林康夫 : エゾマツの青変菌 *Endoconidiophora coeruleusens* MUNCH の研究, 林業試験場研究報告 81, 19-28 (1953) .
  - 19) 青島清雄, 林康夫 : マツ箱材の青変防止試験, 林業試験集報 64, 83-90 (1952) .
  - 20) 青島清雄, 林康夫 : マツの青変菌 *Ophiostoma coeruleum* (Munch) H. et p. SYDOW について, 林業試験場研究報告 92, 41-50 (1956) .
  - 21) アカマツ資源構成表, 岩手県農林水産部編, 2006, 岩手県.
  - 22) 穴沢靖, 谷内博規, 高橋民雄, 浪崎安治, 有賀康弘 : 県産木材の高度利用技術の開発, 岩手県工業技術センター研究報告, p. 1-6 (1999) .
  - 23) 阿部 寛:難燃合板, 木材工業 15 (4), 23-26 (1960) .
  - 24) 雨宮昭二 : 簡易木材防腐処理 (3) 温冷浴法, 木材工業 17 (7), p. 1-6 (1962) .
  - 25) 雨宮昭二 : 簡易木材防腐処理 (4) 拡散法, 木材工業 17 (8), p. 1-7 (1962) .
  - 26) 石原茂久 : ホウ酸およびリチウム化合物による難燃性パーティクルボード, 材料 30 (344), 731-735 (1981) .
  - 27) 石原茂久 : 木材の科学と利用技術 2. 防・耐火性能火炎下における木材の性状, 挙動, 1989, p. 137-154, 日本木材学会.
  - 28) 伊藤貴文 : グリオキザール樹脂処理による木材の寸法安定化処理 (2), 奈良県林試研報 21, 32-38 (1991) .
  - 29) 伊藤貴文 : グリオキザール系樹脂処理材の強度性能 (第2報), 奈良県林試研報 24, 40-48 (1994) .
  - 30) 伊藤貴文 : グリオキザール樹脂処理による木材の寸法安定化, 京都大学博士論文, 74-89 (1997) .
  - 31) 伊藤貴文, 石原茂久 : 熱ロールプレスを用いた木材の圧密とグリオキザール樹脂による変形の固定, 木材学会誌 43 : 52-60 (1997) .
  - 32) 伊藤彦紀 : 国産針葉樹の難燃化処理技術の開発・製造に携わって, 林業技術 688, 24-25 (1999) .
  - 33) 井上嘉幸 : 木材に発生するカビとその防止法, 木材保存 4, 5-26 (1976) .
  - 34) 井上嘉幸 : 最近の防菌防カビ剤, 木材保存 17 (2), 54-58 (1991) .
  - 35) 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正 : 軟質針葉樹材の表面層圧密化処理 (第2報) フェノール樹脂初期縮合物による圧縮木材の固定, 木材学会誌 37, 227-233 (1991) .
  - 36) 井上雅文 : 木材の横圧縮大変形の永久固定, 京都大学博士論文, 72-105 (1993) .
  - 37) 井上元則 : "松食い虫防除精説", 朝倉書店, 1949, p. 79-115.
  - 38) 岩下 睦 : 難燃性パーティクルボード, 木材工業 15 (4), 33-36 (1960) .
  - 39) 岩手県林業動向年報 (平成 15 年度版) 資料編, 岩手県農林水産部編, 2004, p. 6, 岩手県.
  - 40) 上田明良, 藤田和幸 : 枯れたマツ由来の各種誘引剤を用いた甲虫類の捕獲調査, 森林総合研究所関西支所年報 41, p. 24 (1999) .
  - 41) 緒方清八 : 木材の硬性, 硬度, カタサ, 木材学会誌 2 (3), p. 114-118 (1956) .
  - 42) 奥村昌和, 安蘇国猛 : 木材-ポリアクリル酸メチル複合体におけるポリマーの細胞壁内分布, 木材学会誌 26 (1), 6-11 (1980) .
  - 43) 尾田勝夫 : 伐倒アカマツ樹幹の揮発成分, 林試研報 266, 1-11 (1974) .
  - 44) 北島君三 : アカマツ材の含有湿度と青変との関係, 林業試験場集報 45, 1-10 (1938) .
  - 45) 北島君三 : アカマツ丸太材の青変防止試験, 林業試験場集報 47, 1-30 (1939) .
  - 46) 草場敏郎 : カーバム剤 NCS の除草剤としての効果 - 特に宿根草に対して -, 岩手県林業技術センター成果報告第 14 号, p. 1-6 (1981) .
  - 47) 熊倉裕史・長坂幸吉・藤原隆広 : 露地野菜栽培での防虫ネットトンネル利用の効果と留意点, 農業および園芸 78 (7), 786-794 (2003) .
  - 48) 黒須博司, 堀池 清 : セリウム塩法によるセルロー

- スへのメチルメタクリレートのグラフト共重合 (第2報), 木材学会誌 22 (6), 358-363 (1976) .
- 49) 慶野金市, 富樫郁子:丸太に散布した薬剤の行動 (1) 丸太木口よりのPCPおよびその塩類の浸潤について, 林業試験場報告 100, 83-93 (1957) .
- 50) 慶野金市, 富樫郁子:丸太に散布した薬剤の行動 (2) 樹皮面からのPCPおよびその塩類の浸潤について, 林業試験場報告 161, 113-121 (1963) .
- 51) 慶野金市, 富樫郁子:丸太に散布した薬剤の行動 (3) 野外における生丸太木口からの防菌剤の浸潤とその深さの経時変化およびその防菌効力について, 林業試験場報告 197, 13-38 (1967) .
- 52) 慶野金市: マツ生丸太の防虫・防菌, 林業試験場研究 223, 25-65 (1969) .
- 53) 建設省: “告示第 1439 号”, 2000.
- 54) 越島哲夫, 杉原彦一, 浜田良三, 福山万治郎, 布施五郎 共著: “基礎木材工学”, フタバ書店, 1973, p. 45-50.
- 55) 国土交通省: 建築基準法施行令第 128 条の 4, 2003.
- 56) 国土交通省: 建築基準法施行令第 129 条, 2000.
- 57) 国土交通省: 建築基準法施行令第 1 条第 5 号および第 6 号, 2000.
- 58) 国土交通省: 建築基準法第 2 条第 9 号, 2004.
- 59) 小林国夫: 防火ハードボード, 木材工業 15 (4), 27-28 (1960) .
- 60) 小林富士雄: 森林昆虫の密度および分布の調査法に関する研究 (第 1 報) マツの穿孔虫類の樹体内分布, 林業試験場報告 274, 85-124 (1975) .
- 61) 小藤田久義, 藤野陽治, 佐々木達也, 長谷部真, 太田路一, 鈴木幸一: スギ樹皮の抗菌活性とその関連成分, 木材学会誌 47 (6), 479-486 (2001) .
- 62) 斉藤義則: 防火合板, 木材工業 8 (8), 7-12 (1953) .
- 63) 坂 志朗: 木質新素材ハンドブック, 1996, p. 467, 技報堂出版.
- 64) 坂田 功, 宮田奈美子, 千手諒一: 酸化前処理した木質繊維への鉄イオンの存在におけるビニルモノマーのレドックス系グラフト重合, 木材学会誌, 19 (6), 275-283 (1973) .
- 65) 佐藤平典: マツノキクイムシの丸太穿入防止試験, 岩手県林業試験場成果報告, 第 1 号, p. 63-66 (1969).
- 66) 佐藤南理子, 清水恵美子, 鈴木 健, 森 光國: 缶詰食品の水分活性の測定法と実測値について, 缶詰時報 56 (1), 87-91 (1977) .
- 67) 澤辺 攻: マツ資源とその利用に関する流動実態調査, 岩手県農林水産部編, 1996, p. 69 岩手県.
- 68) 沢辺 攻, 関野 登: 輪生節利用を前提とした中・小径アカマツからの構造用 LVL の製造 (1) 節の形質と曲げ性能の関係, 第 45 回日本木材学会大会要旨集, p. 244 (1995) .
- 69) 沢辺 攻, 関野 登: アカマツ構造用 LVL の製造 (3) 輪生節と曲げ性能, 第 46 回日本木材学会大会要旨集, p. 245 (1996) .
- 70) JIS ハンドブック 建築 試験・設備編, 1998, p. 439-443, 日本規格協会.
- 71) 繁澤静夫: アメリカの木材工業紹介 (1) 合板の防火処理, 木材工業 6 (4), 29-32 (1951) .
- 72) 角田邦夫: 低毒性防カビ剤に関する研究 (3), 木材保存 14 (5), 8-18 (1988) .
- 73) 住本昌之, 近藤民雄, 萩原幸弘, 中島康博: マツの揮発成分によるシラホシゾウ属の誘引, 第 21 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 210 (1971) .
- 74) 住本昌之: マツクイムシの誘因物質, 第 21 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 234-235 (1971) .
- 75) 庄司次男: NCS 剤の注入によるマツノマダラカミキリの殺虫効果, 日本林学会東北支部会誌 34, 118-119 (1982) .
- 76) 谷内博規, 穴沢 靖: 難燃化処理木材の開発 (第 3 報), 岩手県林業技術センター研究報告 8, 9-14 (1999) .
- 77) 谷内博規, 穴沢靖: アカマツを用いた単板積層材の表面硬さについて, 第 50 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 654 (2000) .
- 78) 谷内博規, 穴沢靖: 軟質針葉樹材の表面硬化技術の開発, 岩手県林業技術センター研究報告第 9 号, p. 7-13 (2000) .
- 79) 谷内博規, 穴沢 靖: 難燃化処理木材の開発 (第 4 報). 岩手県林業技術センター研究報告 10, 1-6 (2002) .
- 80) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: アカマツ材での青変発生・拡大に及ぼす水分, 温度の影響, 第 52 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 415 (2002) .
- 81) 谷内博規, 小岩俊行, 土居修一: 防カビ剤, 防虫剤を用いたアカマツ青変の試みとその解析, 第 53 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 419 (2003) .
- 82) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: *Leptographium wingfieldii* がアカマツ材を青変する際の温度, 水分, 酸素の影響, 木材学会誌 49 (6), 446-451 (2003) .
- 83) 谷内博規: 新建築基準法に対応した防火処理木材の

- 開発, 岩手県林業技術センター研究報告 11, 1-4 (2003) .
- 84) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: 伐採直後の薬剤処理によるアカマツ青変防止効果, 日本木材加工技術協会第 23 回年次大会講演要旨集, p. 59-60 (2005) .
- 85) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: 林地におけるアカマツ青変挙動と防カビ剤, 防虫剤を併用した際の青変防止効果, 日本木材保存協会第 21 回年次大会講演要旨集, p. 12-17 (2005) .
- 86) 谷内博規, 土居修一: 薬剤処理されたアカマツ丸太の木口面, 樹皮下材面, 材内部の青変挙動, 第 33 回防菌防黴学会年次大会要旨集, p. 111 (2006) .
- 87) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: アカマツ樹皮下へのキクイムシの穿孔を被覆材により阻害した際の青変防止効果, 第 56 回日本木材学会大会研究発表要旨集, p. 75 (2006) .
- 88) 谷内博規, 小岩俊行, 升屋勇人, 土居修一: 林地におけるアカマツ丸太の青変に対する防虫剤と防黴剤の効果, 木材保存 32 (4), p. 151-158 (2006) .
- 89) 種田健造: 重合開始剤による木質物へのグラフト共重合に関する研究, 北海道林産試験場研究報告 59, 1-6 (1972) .
- 90) 寺澤正男: 硬さのおはなし, 1981, p. 29-45, 日本規格協会.
- 91) 西内 豊, 山崎裕三, 森岡幸男: ラジアータパインの青変防止技術 (第 2 報), 高知工試研究報告 16, 128-133 (1985) .
- 92) 西内 豊, 山崎裕三: ラジアータパインの青変防止技術 (第 4 報), 高知工試研究報告 17, 108-112 (1986) .
- 93) 西門義一: 松樹材質の青変について, 病虫害雑誌 19 (12), 877-884 (1933) .
- 94) 西門義一: 山内己西: 松材の青変を起こす「セラトストメラ・ピセエ」菌に関する研究 (木材の青変に関する知見 第 3 報), 農学研究 24, 283-316 (1935) .
- 95) 日本木材保存協会編: “木材保存学入門改訂版”, 2001, p. 58-63, まほろ印工.
- 96) 日本木材保存協会編: “木材保存剤ガイドライン改訂版”, 2001, p. 28-35.
- 97) 仁賀定三: 難燃合板の生産・規格・検査, 木材工業 15 (4), 49-51 (1960) .
- 98) 布村昭夫, 伊東英武, 葛西 章, 駒形克巳: 木質材料の難燃化処理に関する研究 (第 2 報), 北海道林産試験場研究報告 57, 1-9 (1972) .
- 99) 布村昭夫: カラマツの防カビ, 木材保存 4, 27-32 (1976) .
- 100) 布村昭夫, 伊東英武, 葛西 章, 山岸宏一, 駒形克巳: 道産合板の難燃化に関する研究, 北海道林産試験場研究報告 69, 160-194 (1980) .
- 101) 野淵 輝: マツ類を加害するキクイムシについて, 林業試験場研究報告 185, 1-49 (1966) .
- 102) 野村安宏: 木材用防かび剤の製剤化に関する研究 - 剤型による効力と作業液安定性の関係 -, 木材保存 16 (5), 236-244 (1990) .
- 103) 野村安宏: 木材防カビ剤, 木材保存 19 (6), 39-44 (1993) .
- 104) 中村嘉明: 非 TCP 系木材防カビ剤の実用適性試験結果, 奈良県林試木材加工資料 24, 30-37 (1995) .
- 105) 則元 京: 木質新素材ハンドブック, 1996, p. 406-412, 技報堂出版.
- 106) 則元 京: 木質新素材ハンドブック, 1996, p. 491-495, 技報堂出版.
- 107) 浜田良三, 布施五郎: 新訂 基礎木材工学, 1973, p. 381-385, フタバ書店.
- 108) 原田寿郎: 木材の燃焼性および耐火性能に関する研究, 森林総合研究所研究報告 378, 12-16 (2000) .
- 109) 平田利美, 阿部 寛, 福井康夫: 防火薬剤に関する研究 (2), 林業試験場報告 200, 156-182 (1967) .
- 110) 福井康夫: 防火試験法, 木材工業 15 (4), 45-48 (1960) .
- 111) 福住俊郎, A. J. Maquire: ジアータパインの青変菌に対する劣化防止, 木材保存 13 (1), 9-17 (1987) .
- 112) 藤岡 浩: 年越し枯れ発生地域におけるマツ材線虫病の発生形態とその防除 (2) 森林防疫 39, 234-240 (1990) .
- 113) 藤本英人: 木材ブロックに対するマレイン酸・グリセリン処理条件の検討, 北海道林産試験場報 9 (3), 1-6 (1995) .
- 114) 前川芳広: 建築物の防火上の制限について, 木材工業 15 (4), 8-14 (1960) .
- 115) 宮下久哉, 鈴木正治: スギ材のγ-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン処理による寸法安定性, 難燃性の改良と合板の接着耐久性への適用, 木材学会誌 45 (3), 215-260 (1999) .
- 116) 宮下久哉, 鈴木正治: γ-メタクリロキシプロピルトリメトキシシラン処理を施したスギ材のケイ素分布とその難燃性, 木材学会誌 46 (5), 449-455 (2000) .
- 117) 宮藤久士, 坂 志朗: ゴルゲル法による木材と無機質の複合化 (第 5 報), 木材学会誌 42 (1), 74-



- 80 (1996) .
- 118) 木質科学実験マニュアル, 日本木材学会編, 2000, p. 187, 文永堂出版.
- 119) 森 徹: 建築用耐火木材について, 木材工業 5 (2), 5-10 (1950) .
- 120) 森本 博: 各種防火材料の防火性, 木材工業 15 (4), 37-44 (1960) .
- 121) 森本 博: 防火木材, 木材工業 15 (4), 19-22 (1960) .
- 122) 森本 博: 防火木材今昔—防火材料の考え方とその変遷—, 木材保存 6 (2), 38-51 (1977) .
- 123) 矢頭献一: 図説 樹木学—針葉樹編, 1964, p. 129-133, 朝倉書店.
- 124) 谷田貝光克, 高橋利夫: バイオマスの有効利用 (1) 針葉に含まれる精油について, 木材学会誌 29 (3), 274-279 (1983) .
- 125) 山岡裕一: 菌類の採集と検出と分離: 木材変色菌 (特にオフィオストマ科菌類) の採集と分離, 日菌報 39, 125-131 (1998) .
- 126) 山岡裕一, 升屋勇人, 金子 繁: 材の変色または生立木枯損等の樹木病害を引き起こす日本産オフィオストマ様 (Ophiostomatoid) 菌類 (1), 森林防疫 48 (1), 3-9 (1999) .
- 127) 山岡裕一, 升屋勇人, 金子 繁: 材の変色または生立木枯損等の樹木病害を引き起こす日本産オフィオストマ様 (Ophiostomatoid) 菌類 (2), 森林防疫 48 (2), 11-18 (1999) .
- 128) 山岡裕一: 森林微生物生態学 (編著: 二井一禎, 肘井直樹), 2000, p. 148-162, 朝倉書店.
- 129) 山崎裕三, 西内 豊, 森岡幸男: ラジアータパインの青変防止技術 (第1報), 高知工試研究報告 16, 122-127 (1985) .
- 130) 山崎裕三, 西内 豊: ラジアータパインの青変防止技術 (第3報), 高知工試研究報告 17, 104-107 (1986) .
- 131) 山田雅章, 野橋健三, 小杉敏己, 池上元一, 大石件次, 佐野禎彦, 神長邦雄, 又平義和: スギ材の樹脂加工とその応用, 木材工業 513, 18-21 (1989) .
- 132) 山本政義: 難燃性セミハードボード及びインシュレーションボード, 木材工業 15 (4), 30-32 (1960) .
- 133) 好井久雄, 金子安之, 山口和夫 共著: “食品微生物学”, 技報堂出版株式会社, 1972, p. 70-80.
- 134) 吉野安里, 柴田直明: カラマツ等県産材の需要開発に関する研究—難燃材の開発—, 長野県林業総合センター業務報告, 1989, p. 41-42, 長野県.
- 135) 李実英: 分光画像による物体表面の反射パラメータ推定, 奈良先端科学技術大学院大学, 修士論文, p. 4-6 (2004) .
- 136) 林業センサス累計統計書, 農林水産省経済局統計情報部編, 2003, p. 252-253, 農林統計協会.
- 137) 林業試験場監修: 木材工業ハンドブック, 1982, p. 188-189, 丸善.

## SUMMARY

### 1) Introduction

This study is Japanese red pine (*Akamatsu*, *Pinus densiflora* S. et Z) interior material as demand focuses on the high value-added manufacturing technologies for the development of the current challenges and the extraction solution-related research.

### 2) Mycelial growth of the fungus and the extension of blue stain in Akamatsu wood

#### 2.1) Blue-stain fungi isolated from Akamatsu in Iwate

Iwate Prefecture in 12 districts of Akamatsu, pine pile insect damage trees, forest trees in the logging and sawmill lumber yard three conditions logs obtained from the blue staining wood, the bark beetle using fungus separation. As a result, the blue staining wood, bark beetle, mainly Ophiostomatoid fungus are nine varieties of segregation in the district, the conditions in the survey period, each separated by Ophiostomatoid fungus distribution is different. Those from the blue staining damage were caused by Ophiostomatoid fungus it has been confirmed.

#### 2.2) Effects of temperature, water activity and oxygen concentration on extension of blue-stain caused by *Leptographium wingfieldii* in Akamatsu wood

*Leptographium wingfieldii* Morelet causes blue-stain of Akamatsu wood. Effects of temperature, water activity and oxygen concentration on mycelial growth of the fungus and the extension of blue stain were investigated culturing the fungus on 2% malt agar (MA) medium and Japanese red pine wood blocks. The largest mycelial extension was observed at about 25°C on 2% MA medium. Increasing water activity enlarged mycelial growth and blue-stain while oxygen concentration of less than 5% arrested blue-stain. Blue-stain extensions in pine wood blocks were observed between 50 and 180% initial moisture content (MC). The largest rate of blue-stain was observed at a stage that MC of wood blocks declined from 150-180% to 120-150%. No blue staining was appeared at less than 50% MC. From the above results, it is assumed that blue-stain of Japanese red pine caused by *Leptographium wingfieldii* extend between 50% and 150% MC of the wood which may secure enough oxygen and water. The blue-stain is suppressed at more than 150% MC by in sufficient oxygen concentration and at less than 50% MC by in sufficient water supply.

### 3) Rational blue staining prevention technology

#### 3.1) Effectiveness of a fungicide and an insecticide on preventing blue-stain of Akamatsu in a forest

Preservative efficacy of a fungicide and an insecticide against blue-stain in Akamatsu logs was investigated in relation to mechanisms of fungal propagation in a forest. We observed the two major routes of fungal invasion in logs-blue-stain. One route is through cross-cut surfaces stuck by fungal spores the other is through the bark surfaces with fungal spread by bark beetles. The latter is the dominant cause of the logs-blue-stain. The blue-stain through the cross-cut surface was prevented with the fungicide and that through the bark surfaces was prevented with the insecticide.

#### 3.2) Efficacies of an insecticide and a fungicide for preventing blue-stain of Akamatsu logs

We examined blue-stain fungi on Akamatsu at 3 forests and 2 saw mills in Iwate Prefecture, Japan. The isolated ophiostomatoid fungi were *Leptographium* sp. and *Ophiostoma* sp. There were 3 routes of the blue-stain; fungal growth from the spore or hypha stuck on the cross cut surfaces, fungal spread through the inner bark by bark beetles and fungal invasion around whorled knot. The larger extensions of blue-stain in summer and spring seasons were mainly caused from infestations of bark beetles. Efficacies of an insecticide and a fungicide for preventing blue-stain were also evaluated. For preventing blue-stain through the year, it was required to treat logs with the insecticide against bark beetle attacks and with the fungicide to inhibit fungal growth on the cross cut surface.

#### 3.3) Efficacies of physical barriers for preventing blue-stain of Akamatsu logs

This study deals with field trials on physical barriers to prevent blue stain on Akamatsu logs using a fly screen, bark and leaves of Japanese cedar as covering materials. These barriers arrested blue stain and bark beetle attacks to low levels than control for 1 month except covering with a small amount of bark. Covering with the fly screen and a large amount of bark permissibly suppressed blue stain for more than 1 month. The fly screen will be enough for practical use to prevent blue stain of pine logs.

### 4) Surface harding techniques for softwood products for interior use

To improve the surface hardness of softwood products, a new technique combining softwood veneer lamination and

coating with urethane-base resin was investigated. Akamatsu has a high decorative quality, however, its soft surface due to low-density earlywood restricts the interior use such as floor and tabletop. In this work, Akamatsu veneers were laminated so that glue lines appear in parallel on the product top surface, which enable the earlywood to disperse and help surface hardening by glue lines. Also this structure would provide the coating film of the top surface with enough rigidity. Therefore, the product surface would be expected as firm as hardwood by this technique. Akamatsu sliced veneers with thickness from 1 to 5mm were laminated with aqueous vinyl polymer solution-isocyanate by a cold press (pressure; 0.98MPa, time; 12 hours). The undercoat used was a urethane-base resin specially developed for softwood. The hardness of the topcoat used was varied from 4H to B. The hardness of the material was evaluated by Vickers hardness, Brinell hardness and partial compressive strength. The results obtained are as follows: 1) The types of coating was more effective than veneer thickness on the improvement of Vickers hardness; Vickers hardness of the product surface increased by about fifty percent compared to Akamatsu solid wood similarly coated. 2) In contrast, the veneer thicknesses were more effective than coating on the improvement of Brinell hardness; Brinell hardness of the product surface increased double compared to Akamatsu solid wood similarly coated. 3) The partial compressive strength was increased when thinner veneers were employed, though it did not depend on the types of coating.

## 5) The development of fire retardant wood

### 5.1) Effects of species, moisture content before treatment on amount of chemical in wood and fire performance

For development of the fire retardant wood corresponding to the revised Building Standard Law, three kinds of softwood were treated with the phosphoric acid based medicine, and the effects of species and moisture content before treatment on impregnated amount of chemicals and fire performance were evaluated. Results are described as follows. 1) In the process using vacuum pressurization impregnated equipment, the higher the moisture content before treatment, the lesser the impregnated amount of chemicals in wood. 2) In order to develop fire retardant wood, sugi (*Cryptomeria Japonica* D. Don) required 100kg/m<sup>3</sup> or more of impregnated chemicals, whereas Akamatsu needed 120kg/m<sup>3</sup> or more. 3) In order to obtain quasi-noncombustible fire performance, sugi and

akamatsu required 140kg/m<sup>3</sup> and 150kg/m<sup>3</sup> of medicine respectively.

### 5.2) The Development of Fire-Retardant-treated wood by Hot and cold bath process

Dry Akamatsu sapwood, undried wood using a cold bath, hot baths, hot-and-cold bath process when using the chemicals for impregnation. In addition, over-the-counter chemicals phosphorous, using hot-and-cold bath process of treatment to make sure the chemical concentration, heart and sapwood of amount of chemicals and thickness is to discuss the influence. The samples were tested in accordance with "Grade 3 Incombustibility" of the flammability test prescribed in JIS A-1321-1975. As a result, the thickness of 10 mm to Akamatsu wood can use incombustible material to manufacture. In addition sapwood use only if the quasi-noncombustible materials manufacturing also.

### 5.3) Effect of coating process on light stability resistance and moisture proof for fire-retardant wood

As the part of development of fire-retardant wood, the coating process for chemically treated wood was studied. The Japanese red pine samples were dipped in the fire retardant chemicals by the hot-and-cold bath process. And then the materials were coated with poly-butadiene resin type, polyurethane resin type, nitrocellulose lacquer and fire retardant paints. The coated samples were evaluated by characteristic of photo-reflection, light stability resistance and moisture proof. Poly-butadiene resin coating was the most effective for discolor among these treatments.