

# 林産試験場報

## 研究

- 難燃処理木材の白華発生による燃焼抑制作用の変化 ..... (1)  
河原崎 政行, 関 一人, 平林 靖

## 研究記録

- 芦別産ヨーロッパトウヒの材質試験 ..... (8)  
村上 了, 大崎 久司
- 林地に放置された丸太の燃料品質 ..... (12)  
山田 敦, 西宮 耕栄, 檜山 亮, 安久津 久
- 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討 (5)  
灰の明度と融雪効果 ..... (15)  
折橋 健, 安久津 久, 原田 陽
- 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討 (6)  
酸性土壌に対するpH矯正力 ..... (19)  
折橋 健, 安久津 久, 原田 陽
- 異なる接合金物を併用した接合部の性能評価に関する研究 ..... (25)  
戸田 正彦, 富高 亮介
- 深浸潤処理を用いたCLTの保存処理方法に関する検討 ..... (30)  
宮内 輝久, 大橋 義徳, 宮崎 淳子, 高梨 隆也, 渋井 宏美, 伊佐治 信一,  
茂山 知巳, 須貝 与志明, 山本 哲, 孕石 剛志, 森 拓郎, 松永 浩史
- 有機酸を含浸した蒸煮処理木材の熱流動性 ..... (36)  
長谷川 祐, 大市 貴志
- 野生型エノキタケ新品種の開発 (第1報)  
ランダム交配菌株の作出と選抜 ..... (43)  
宜寿次 盛生, 米山 彰造, 齋藤 沙弥佳, 東 智則, 檜山 亮, 津田 真由美

## 抄録

- エリンギの菌床栽培における早生樹「ヤナギ」の利用 ..... (51)  
原田 陽, 折橋 健, 檜山 亮, 棚野 孝夫

2022

549号

地方独立行政法人

北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場



## 難燃処理木材の白華発生による燃焼抑制作用の変化

河原崎 政行，関 一人\*<sup>1</sup>，平林 靖\*<sup>2</sup>

### The effect of efflorescence on the fire performance of fire-retardant-treated wood

Masayuki KAWARASAKI, Kazuto SEKI, Yasushi HIRABAYASHI

To understand the fire performance of fire-retardant-treated wood (FRT wood) with efflorescence, chemical retention was calculated, and a cone calorimeter test was performed on the FRT wood with artificially generated efflorescence. As a fire retardant, diammonium hydrogen phosphate was applied to wood board specimens with thicknesses of 12 mm and 18 mm. And the chemical retention was set to two levels: 130kg/m<sup>3</sup> and 225 kg/m<sup>3</sup>. Based on the calculation result of chemical retention, efflorescence caused a chemical retention decrease in FRT wood with a chemical retention of approximately 225kg/m<sup>3</sup>. In FRT wood with chemical retention of approximately 225kg/m<sup>3</sup>, there was no difference in the chemical retention decrease caused by efflorescence between the thicknesses of 12 mm and 18 mm. The cone calorimeter test revealed that there was no effect on the combustion properties of the efflorescence in all FRT wood specimens. From these results, it was assumed that efflorescence causes leaching of the fire retardant in FRT wood with chemical retention of approximately 225kg/m<sup>3</sup>, but does not significantly reduce fire performance.

*Keywords: Fire-retardant treated wood, efflorescence, fire performance, Cone Calorimeter, chemical retention*

難燃処理木材，白華，防火性能，コーンカロリメーター，薬剤固形分量

白華が発生した難燃処理木材の燃焼抑制作用を把握するため、人工的に白華を発生させる操作を行った処理木材について残存薬剤固形分量の算出及び発熱性試験を行い、操作前との比較を行った。試験体は、厚さを12mmと18mmの2水準とし、難燃処理は難燃剤にリン酸水素二アンモニウムを用いて薬剤固形分量を130kg/m<sup>3</sup>前後と225kg/m<sup>3</sup>前後の2水準とした。残存薬剤固形分量の算出結果から、白華発生操作は、薬剤固形分量225kg/m<sup>3</sup>前後の処理木材において薬剤固形分量の減少を生じさせた。また、白華発生後の難燃処理木材の薬剤固形分量の減少量は、厚さ12mmと18mm間に差が無かった。発熱性試験の結果では、薬剤固形分量の減少が生じた処理木材を含めて、全ての処理木材に白華発生操作による燃焼性状への影響が認められなかった。これらの結果から、白華の発生は、225kg/m<sup>3</sup>前後の薬剤固形分量の難燃処理木材においては難燃剤の溶脱を生じさせるが、防火性能を急激に低下させる可能性は少ないと推測された。

#### 1. はじめに

難燃処理木材は、難燃剤を注入処理することで木材の燃焼を抑制した材料であり、建築物の内装において法令により防火上の制限が適用される部分を木質化する際に使用されてきた。平成22年に公共建築物等木材利用促進法が施行されて以降、公共施設や

駅舎等の比較的規模の大きな建築物の内装に難燃処理木材が使用される事例が増えた。同法律は令和3年10月の改正により、対象が「公共建築物」から民間の建築物を含む「建築物一般」に拡大されたことから、今後難燃処理木材の使用機会が更に増えていくことが予想される。

一方、難燃処理木材は、施工後において材内から溶出した難燃剤が表面で固まる現象（以下、白華とする）が発生し、美観が損なわれることが問題になっている。（公財）日本住宅・木材技術センターの報告書<sup>1)</sup>では、難燃処理木材が内装に施工された18棟の建築物の68の場所を調査した結果、78%の場所で白華の発生が確認されたことを示している。

難燃処理木材の白華発生要因については、筆者らの既報<sup>2)</sup>において、難燃剤の種類が影響すること、薬剤固形分量が高いほど、雰囲気湿度が高いほど発生の可能性が高まることを示した。難燃処理木材の白華の抑制については、これまで難燃剤の改良や塗装による方法が試みられており、有用な結果が得られている<sup>3-7)</sup>。筆者らは、準不燃材料の性能を有する難燃処理木材は、吸湿性の低いリン酸グアニジン系難燃剤を用い、造膜系の溶剤系ウレタン樹脂塗料を表面に塗布することにより、湿度90%RHにおいても白華を抑制できる可能性を示した<sup>8)</sup>。

以上のように、難燃処理木材の白華防止に係る技術的知見は徐々に蓄積されてきている。一方、白華の発生後の難燃処理木材について、補修方法を技術的に検討された報告はほぼ無い。難燃処理木材は、前述のように今後使用量増加が予想されることから、白華発生後の補修が必要とされる機会が増えていくと考える。このことから、今後において難燃処理木材の補修技術の開発に対する要望は高まると予想される。

難燃処理木材は、法令で防火上の制限が適用される内装に使用されるため、補修後においても法定の基準性能を維持することが必要である。そのため、補修技術の開発には難燃処理木材について白華発生による燃焼抑制作用の変化を把握する必要がある。そこで本研究では、人工的に白華を生じさせた難燃処理木材について、残存薬剤固形分量の算出及び燃焼試験により燃焼抑制作用の変化を考察した。なお本研究の一部は、2018年度日本建築学会大会<sup>9)</sup>で発表した。

## 2. 試験体

### 2.1 供試材料

試験体に用いた板材は、樹種をスギ(*Cryptomeria japonica*)とし、心材を用いた。板材の寸法は、長さ200×幅105mmとし、厚さを12, 18mmの2種類とした。それらの板材は、長さ1800mmの長尺の板材か

ら節等の欠点および辺材部を避けて採取した。採取した板材は、寸法、質量および全乾法により求めたサンプルの含水率から全乾密度を算出し、242～311kg/m<sup>3</sup>の範囲を試験体に使用した。

難燃剤はリン酸水素二アンモニウム（米山化学工業(株)製）を用いた。難燃剤は粉末の状態であり、水道水に溶解させて、厚さ12mmの板材では濃度29%、厚さ18mmの板材では17%及び29%に調整して注入処理に使用した。

### 2.2 難燃剤の注入処理

注入処理前の板材は、強制循環式恒温乾燥器を用いて60°Cで72時間乾燥した後、デシケータ内で常温まで冷却した。乾燥後の板材は、質量を測定した。

注入処理は減圧加圧注入処理装置を用いて行った。減圧加圧条件は、減圧を-0.09MPa（ゲージ圧）で30分、加圧を1.17MPa（ゲージ圧）で2時間とした。注入処理後の板材は、室内に30分間立てかけた後、表面の水溶液を拭き取り質量を測定した。その後、処理板材は室内で3日間以上風乾させた後、40°Cに設定した強制循環式恒温乾燥器を用いて含水率10%前後まで乾燥させた。

各処理板材は、式（1）を用いて薬剤固形分量Lを算出し、厚さ12mmでは250～270kg/m<sup>3</sup>、厚さ18mmでは130～150kg/m<sup>3</sup>（薬液濃度17%）と250～270kg/m<sup>3</sup>（薬液濃度29%）の範囲を試験体用を選定した。試験体は厚さごとに、薬剤固形分量Lがほぼ同じになる3枚を1組として2組作成して、一方の組を白華発生操作用試験体とし、他方を比較対象用試験体とした。試験体の概要を第1表に示す。

$$\text{薬剤固形分量}L \text{ (kg/m}^3\text{)} = \frac{(M_2 - M_1) \times \frac{C}{100}}{V_1} \quad (1)$$

$M_1$  : 注入処理前の板材の質量 (kg)

$M_2$  : 注入処理後の板材の質量 (kg)

$C$  : 難燃剤水溶液濃度 (%)

$V_1$  : 処理前の板材の体積 (m<sup>3</sup>)

## 3. 試験方法

### 3.1 白華発生操作

操作前の試験体は、温度23°C・湿度50%RHに設定した恒温恒湿装置内で24時間の質量変化率が0.1%以下に達するまで養生した。養生後の試験体は、両木口を2液性のエポキシ樹脂（神東塗料(株)製ネオゴーサー#6000）でシールした。シールの際

第1表 試験体の概要  
Table1. Specifications of specimens.

	試験体 Specimen	処理前 の全乾密度 Dry density before treatment (kg/m <sup>3</sup> )	薬剤 固形分量L <sup>a)</sup> chemical retention L <sup>a)</sup> (kg/m <sup>3</sup> )	寸法 Demension (mm)			質量 Mass (g)	密度 Density (kg/m <sup>3</sup> )	木口シール の質量 mass of seals (g)	
				長さ length	幅 width	厚さ thickness				
比較対象 control	PM18	N1	290	142	200.8	105.5	18.2	180.3	467	-
		N2	250	146	200.8	105.3	18.2	164.6	428	-
		N3	290	146	200.8	106.3	18.4	181.8	464	-
		平均 average	277	145	201	106	18	175.6	453	-
白華発生操作 efflorescence operation	PM18	L1	304	146	200.8	106.3	18.2	188.4	484	4.6
		L2	304	149	200.7	107.6	18.3	190.2	482	4.2
		L3	301	144	200.8	106.3	18.2	186.4	479	3.9
		平均 average	303	146	201	107	18	188.3	482	4.2
比較対象 control	PH12	N1	297	264	200.9	105.1	12.3	153.2	590	-
		N2	243	255	201.0	105.6	12.3	133.5	513	-
		N3	287	265	201.1	105.3	12.3	150.4	579	-
		平均 average	276	261	201	105	12	145.7	560	-
白華発生操作 efflorescence operation	PH12	L1	297	267	200.9	106.1	12.3	153.6	585	2.0
		L2	287	261	200.9	106.0	12.2	148.7	572	2.0
		L3	304	260	201.1	106.5	12.2	153.6	586	2.5
		平均 average	296	263	201	106	12	152.0	581	2.2
比較対象 control	PH18	N1	308	265	200.7	105.7	18.3	234.6	606	-
		N2	303	255	200.8	106.1	18.2	227.7	587	-
		N3	301	264	201.0	105.7	18.4	230.1	588	-
		平均 average	304	261	201	106	18	230.8	594	-
白華発生操作 efflorescence operation	PH18	L1	304	268	201.0	105.8	18.1	233.6	606	3.0
		L2	301	260	200.6	106.6	18.3	229.1	587	3.3
		L3	309	259	200.8	106.1	18.3	232.3	596	3.1
		平均 average	304	263	201	106	18	231.7	596	3.1

a) 式 (1) により算出

には、試験体の質量を測定し、塗布前後の質量差からシールの質量を算出した。

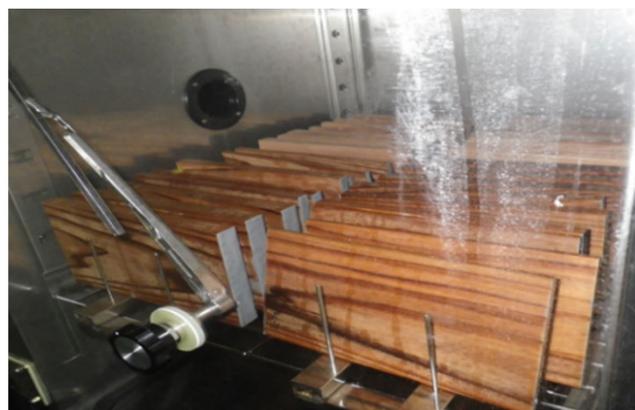
操作は、高湿度雰囲気下への3週間の放置とした。放置する雰囲気は、難燃処理木材に関する欧州規格 EN16755<sup>10)</sup>及びアメリカの規格ASTM D3201<sup>11)</sup>における白華発生に関する評価試験を参考に温度30℃・湿度90%RHとした。試験体は、高湿度雰囲気に調整した恒温恒湿装置（エスペック(株)、CSH-220）内に、ステンレス製のスタンドにほぼ垂直に立てかけて静置させた（第1図）。暴露操作が終了した試験体は、強制循環式恒温乾燥器（タバイエスペック(株)、HPP-200）を用いて60℃で72時間乾燥させた。

暴露中の試験体は、最初の10日間は24時間間隔で、試験体の表面状態の観察および質量の測定をした。暴露10日目以降は、試験体の変化が少なくなったため、間隔を開けて17日目から試験体の観察および質量測定を行った。また、72時間の乾燥を行った試験体についても、同様に表面状態の観察および質量測

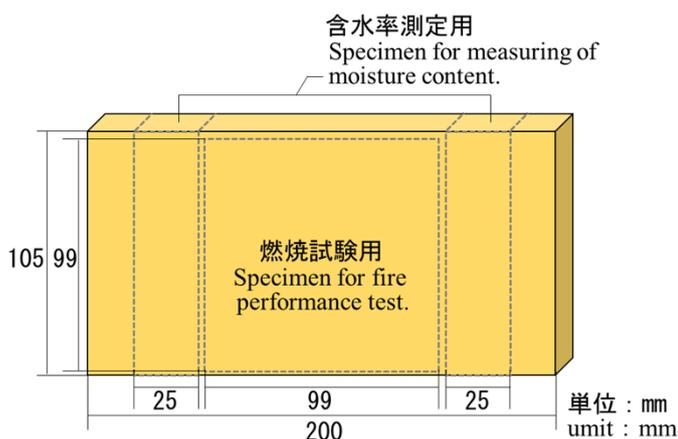
定を行った。

### 3.2 残存薬剤固形分量の算出

白華発生操作後の試験体及び比較対象用試験体は、温度23℃・湿度50%RHに調整した恒温恒湿装置内で、24時間の質量変化率が0.1%以下になるまで養



第1図 高湿度雰囲気放置中の試験体  
Fig.1. Specimens exposed to high humidity condition.



第2図 試験体の採取  
Fig.2. Diagram for collecting of specimens.

生した。養生後の試験体は、第2図に示すように含水率測定用と燃焼試験用の試験体を採取した。含水率測定用試験体は、全乾法により全乾質量を求め、2体の乾燥前の合計質量と全乾質量の合計を基に含水率を算出した。そして、式(2)を用いて、試験体の全乾密度および試験体に用いた板材の全乾密度から試験体の残存薬剤固形分量を算出した。

### 3.3 燃焼試験

3.2で採取した燃焼試験用試験体は、温度23℃・湿度50%RHの雰囲気下で、24時間の質量変化率が0.1%以下になるまで養生した後、燃焼試験に供した。試験は、指定性能評価機関の試験方法評価業務方法書<sup>12)</sup>に規定される発熱性試験とした。

装置は、コーンカロリー計試験装置 (Fire Testing Technology Ltd. ,UK) を用いた。試験体への加熱条件は、強度を50kW/m<sup>2</sup>とし、時間を不燃材料の評価時間である20分間とした。加熱開始時には、試験体の加熱面の中心部上方に点火用プラグによる口火を与えた。

加熱中は、リングサンプラーから採取した排気ガスを分析装置に送り酸素、二酸化炭素及び一酸化炭素の濃度を測定するとともに、ダクト内の排気ガスの温度及び差圧の測定を1秒間隔で行い、業務方法書に基づき発熱速度を算出した。そして、発熱速度の推移から最高発熱速度と20分間の総発熱量を算出した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 白華発生操作における試験体の状態

白華発生操作中の試験体の質量変化を第3図に示

$$\text{残存薬剤固形分量 (kg/m}^3\text{)} = D_{s0} - D_{w0} \quad (2)$$

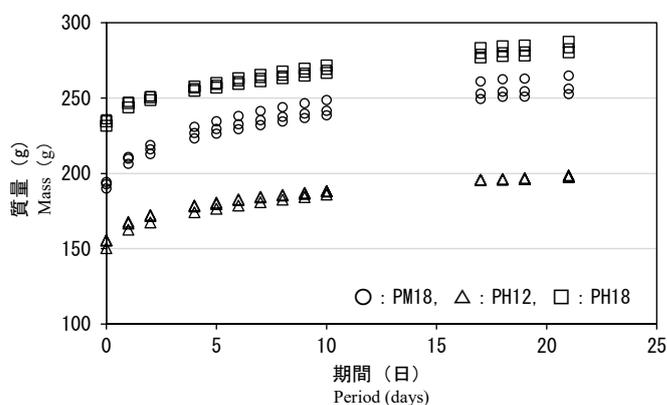
$$D_{s0} = \frac{M_{s0}}{V_{w1}}$$

$$M_{s0} = \frac{(M_{s1} - M_{seal})}{\left(1 + \frac{MC}{100}\right)}$$

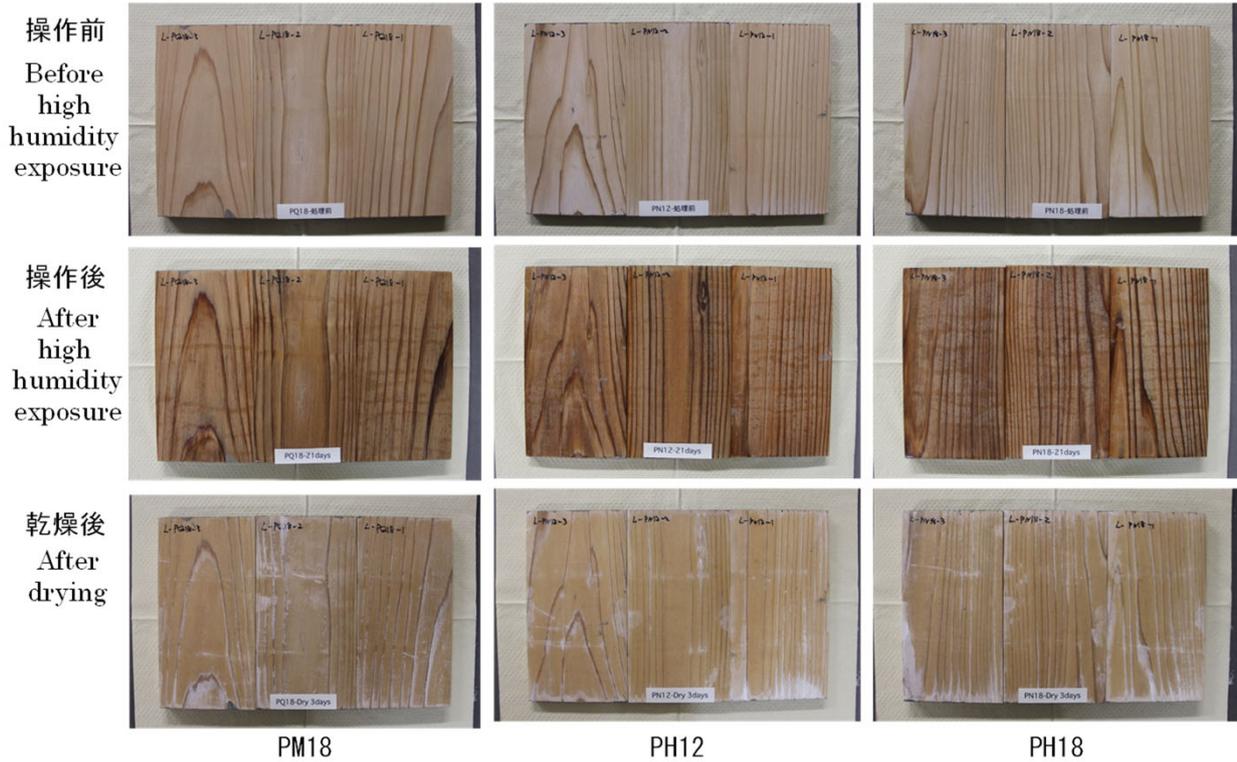
- $D_{s0}$  : 試験体の全乾密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $D_{w0}$  : 注入処理前の板材の全乾密度 (kg/m<sup>3</sup>)
- $M_{s0}$  : 試験体の全乾質量 (kg)
- $V_{w1}$  : 注入処理前の板材の体積 (kg/m<sup>3</sup>)
- $M_{s1}$  : 養生後の試験体の質量 (kg)
- $M_{seal}$  : 両木口のシールの質量 (kg)
- $MC$  : 養生後の試験体の含水率 (%)

す。全ての試験体の質量は、暴露初期に大きく増加し、その後徐々に増加の割合が小さくなった。同じ厚さで薬剤固形分量が異なるPM18とPH18を比較すると、薬剤固形分量の少ないPM18の質量増加が大きかった。既往の報告<sup>2)</sup>では、温度30℃・湿度90%RHの雰囲気下における難燃処理木材の吸湿量は、薬剤固形分量との間に正の比例関係が示されており、上記の状態はこれとは異なっていた。この原因として、本試験では暴露期間が既報の報告よりも短いため、PH18が平衡状態まで吸湿が進んでいないことが考えられた。

白華発生操作前後及び72時間乾燥後の試験体の表面状態を第4図に示す。全ての試験体は、操作中に水滴、乾燥後に白華が発生した。また、水滴の発生は、PM18では放置後4~5日目、PH12及びPH18では放置後2~4日目に最も多く、その後はしだいに少なくなった。



第3図 試験体の質量変化  
Fig.3. Changing of specimen's mass.



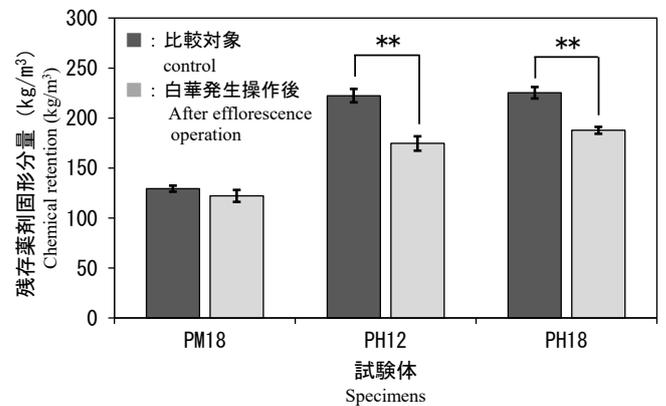
第4図 試験体の表面状態  
Fig.4. Appearance of specimen's surface.

#### 4.2 残存薬剤固形分量

試験体の残存薬剤固形分量を第5図に示す。各試験体間の残存薬剤固形分量の差異は、Tukey-Kramerの方法による多重比較<sup>13)</sup>を行い、結果を図中に併記する。残存薬剤固形分量は、操作後においてPH12とPH18に減少が見られた。また、同一薬剤固形分量で厚さの異なるPH12とPH18については、操作後における薬剤固形分量に差は見られなかった。PH12とPH18の操作による薬剤固形分量の減少量は、平均値で47kg/m<sup>3</sup>と37kg/m<sup>3</sup>であり、当初の薬剤固形分量の21%と16%であった。これらの結果から、難燃処理木材の白華発生による難燃剤の溶脱は、比較対象用試験体の残存薬剤固形分量の最低値である215kg/m<sup>3</sup>以上で生じる可能性が高く、溶脱量には厚さ12mmと18mm間で差異が無いことが分かった。

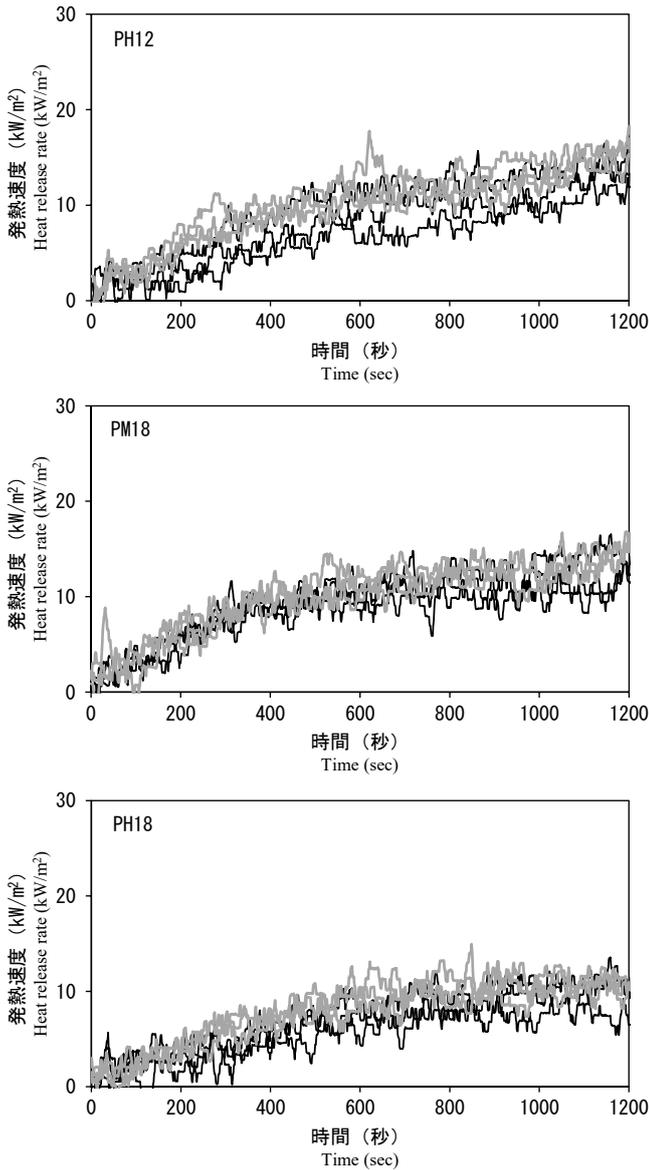
#### 4.3 燃焼試験

各試験体の発熱速度の推移を第6図に示す。全ての試験体は、比較対象及び操作後においても加熱中に有炎燃焼を生じることは無かった。全ての試験体の発熱速度は、20kw/m<sup>2</sup>未満の低い値で加熱終了時まで推移した。比較対象と操作後の試験体間については、発熱速度の推移において部分的及び全体としても明らかな差が見られなかった。



第5図 残存薬剤固形分量の変化  
Fig.5. Changing of chemical retention.

値：平均値，n=3，エラーバー：標準偏差，多重比較（Tukey-Kramerの方法）の結果：\* 5%水準において有意差あり，\*\* 1%水準において有意差あり  
Value: average, error bar: standard deviation, n=3, Significant difference used multiple comparison procedure of Tukey-Kramer, \*: significant at 5% level, \*\*: significant at 1% level.



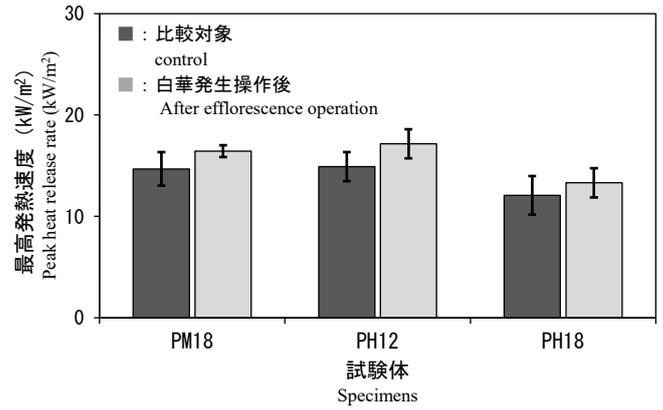
第6図 発熱速度の変化

Fig.6. Changing of heat release rate.

— : 比較対象, — : 白華発生操作後  
control After efflorescence operation

各試験体の最高発熱速度を第7図に、総発熱速度を第8図に示す。総発熱速度と最高発熱速度についてTukey-Kramerの方法による多重比較<sup>13)</sup>を行った結果、比較対象と操作後間において有意差が認められなかった。また、同水準の薬剤固形分量であり、厚さの異なるPH12とPH18間についても有意差は見られなかった。

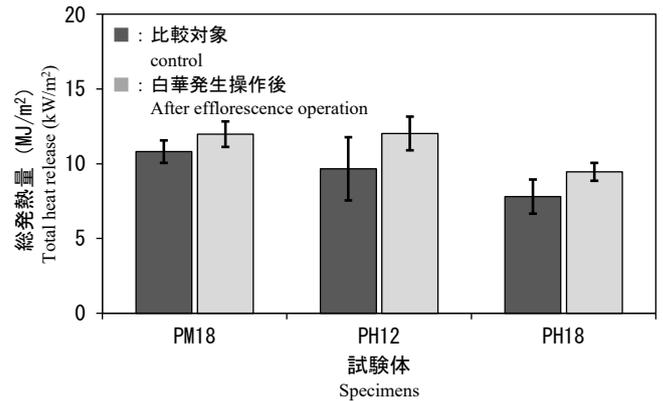
前項では、PH12とPH18は、白華発生操作により残存薬剤固形分量の減少が認められたが、燃焼性状ではそれらの影響が表れなかった。既往の報告<sup>3)</sup>では、難燃処理木材の最高発熱速度及び総発熱速度は、



第7図 最高発熱速度の変化

Fig.7. Changing of peak heat release rate.

値：平均値，n=3，エラーバー：標準偏差，多重比較（Tukey-Kramerの方法）の結果：\* 5%水準において有意差あり，\*\* 1%水準において有意差あり  
Value: average, error bar: standard deviation, n=3, Significant difference used multiple comparison procedure of Tukey-Kramer, \*: significant at 5% level, \*\*: significant at 1% level.



第8図 総発熱速度の変化

Fig.8. Changing of total heat release.

値：平均値，n=3，エラーバー：標準偏差，多重比較（Tukey-Kramerの方法）の結果：\* 5%水準において有意差あり，\*\* 1%水準において有意差あり  
Value: average, error bar: standard deviation, n=3, Significant difference used multiple comparison procedure of Tukey-Kramer, \*: significant at 5% level, \*\*: significant at 1% level.

薬剤固形分量との間に指数関数的な関係が得られている。つまり、最高発熱速度及び総発熱速度は、薬剤固形分量が多くなるに従い低下するが、その低下の割合は薬剤固形分量が多いほど小さくなる。このことから、PH12及びPH18は、当初の薬剤固形分量が215~230kg/m<sup>3</sup>と多いため、50kg/m<sup>3</sup>未満の薬剤固形分量の減少では最高発熱速度及び総発熱速度に影響が現れにくかったと推察される。

## 5. まとめ

難燃処理木材について白華発生による燃焼抑制作用の変化に関する知見を得るため、厚さ及び薬剤固形分量を変えた難燃処理木材について人工的に白華を発生させた後、残存薬剤固形分量の算出及び発熱性試験を行った。

その結果、厚さ12～18mmの難燃処理木材は、薬剤固形分量215kg/m<sup>3</sup>以上では白華の発生により薬剤固形分量が減少する可能性があるが、燃焼抑制作用を早急に低下させるまでには至らないと考えられた。

これらのことから施工後の難燃処理木材は、白華が発生したとしても、法定の基準の防火性能を早急に失うことは無いと推測された。ただし、実際に内装に施工された難燃処理木材は、数年にわたって白華の発生が繰り返される場合があり、その場合では本結果と異なる可能性がある。

今後においては、本研究で得られた成果を踏まえて、難燃処理木材の施工後の燃焼抑制作用の評価手法や防火上の基準性能を担保した再塗装方法等の開発を進め、メンテナンス技術の確立を目指したい。

【本研究は平成29年度林野庁委託事業 都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業（木質耐火部材開発）において行われた。】

## 文献

- 1) (公財)日本住宅・木材技術センター：難燃処理木材の品質管理基準等の検討事業報告書 (2018).
- 2) 河原崎政行, 平林靖：木材保存, 40(1), 17-24 (2014).
- 3) Jing Pan, Jun Mu, Zhaoxu Wu, Xiaoteng Zhang : Fire and Materials, 38, 817-826 (2014).
- 4) Don Won Son, Mee Ran Kang, Won Joung Hwang, Hyun Mi Lee, Sang Bum Park : J. Korean wood Sci.

Technol., 42(2), 157-162 (2014).

- 5) Toshiro Harada, Yasushi Nakashima, Yasushi Anazawa : J. Wood Sci, 53, 249-254 (2007).
- 6) 伊藤貴文, 横谷昭, 春日二郎：第40回木材の化学加工研究会シンポジウム講演集, 東京都, pp.13-19 (2010).
- 7) 花ヶ崎裕洋, 石井利典, 川元満夫：第63回日本木材学会大会要旨集, 盛岡市, N28-P-PM17 (2013).
- 8) 河原崎政行：難燃処理された内装用及び外装用木材の燃焼性状と経年変化, 博士学位論文, 秋田県立大学 (2021).
- 9) 河原崎政行：日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北), 仙台市, pp.381-382 (2018).
- 10) EN16755 : Durability of reaction to fire performance-Classes of fire-retardant treated wood products in interior and exterior end use applications. , European committee for standardization (2017).
- 11) ASTM D3201 : Standard method for hygroscopic properties of fire-retardant wood and wood-based products., The American Society Testing and Materials (2013).
- 12) (一財)日本建築総合試験所：“防耐火性能試験・評価業務方法書 (2000年6月1日制定, 2020年6月15日変更)”, <http://www.gbrc.or.jp/contents/documents/center/8A-103-01.pdf>, 2021年11月5日参照.
- 13) 永田靖, 吉田道広：統計的多重比較法の基礎, サイエンティスト社, 東京, pp.35-40 (2015).

ー性能部 保存グループ  
ー\*1：利用部 バイオマスグループ  
ー\*2：技術部 生産技術グループ  
(原稿受理：2021.11.19)

# 芦別産ヨーロッパトウヒの材質試験

村上 了, 大崎 久司

## Wood qualities of European spruce (*Picea abies*) grown in Ashibetsu

Satoru MURAKAMI, Hisashi OHSAKI

キーワード：ヨーロッパトウヒ, 年輪密度, 繊維傾斜度, 強度試験

芦別産のヨーロッパトウヒについて年輪解析, 繊維傾斜度測定, 強度試験をそれぞれ行った。髄から30年までの年輪幅は変化が大きかったが, その後は1~3 mmの範囲で緩やかに狭くなった。それに伴い, 髄から外側にいくにつれ年輪密度は微増し, 圧縮強度, 曲げ強度, 曲げヤング率も同様の傾向を示した。繊維傾斜度は髄から数年はS旋回方向に傾きが大きくなっていったが, その後は徐々にZ旋回方向への傾きに移行するねじれ返しが生じた。

### 1. はじめに

ヨーロッパトウヒ(*Picea abies*)は明治後期に北海道へ導入された<sup>1)</sup>。その後, トドマツ, カラマツの造林が軌道に乗りヨーロッパトウヒの植栽量は減ったものの, 現在, 昭和初期にかけて植栽されたヨーロッパトウヒが伐期を迎えている。

これまで道産のヨーロッパトウヒに関する材質の調査は北海道森林管理局が管理する外国樹種見本林(旭川産)から伐採された原木のデータ(林齢79年, 立木3本<sup>2)</sup>)と東京大学北海道演習林(富良野産)から伐採された原木のデータ(林齢58年, 立木30本<sup>3)</sup>)に限られる。

本研究では, 芦別産ヨーロッパトウヒの各種材質試験を行い, 基礎データの拡充を図った。

### 2. 供試材と実験方法

#### 2.1 供試材

試験体は, 北海道森林管理局空知森林管理署辺

溪森林事務所3185ほ林小班(芦別市)で平成29年2月に伐採したヨーロッパトウヒの原木(林齢92年, 1番玉5本, 原木長さ3.65m)から採取した。製材前に打撃法により原木の動的ヤング率を測定した(第1表)。

#### 2.2 試験方法

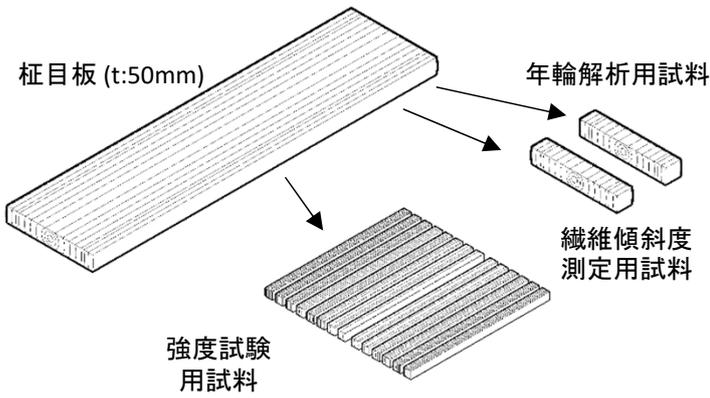
材質試験は軟X線デンシトメトリ法による年輪解析, 割裂法による繊維傾斜度計測, 無欠点小試験体での強度試験を行った。

各供試木の偏心のない方向から, 髄を含む厚さ50mmの桁目板を製材し, 髄を中心に相対する2方向から年輪解析用試料, 繊維傾斜度測定用試料, 及び強度試験用試料を原木の末口に近い箇所から得た(第1図)。

年輪解析用試料は厚さ(繊維方向)2mmに切削加工し, アルコールベンゼンで脱脂後, 恒温恒湿環境下(温度20°C, 湿度65%)で含水率約12%に調整した。軟X線撮影にはソフテックス(株)製軟X線

第1表 供試木の径と動的ヤング率

供試木 番号	見かけの密度 (kg/m <sup>3</sup> )	元口径 (mm)	末口径 (mm)	動的ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )	備考 Remarks
1	642	489	478	10.14	
2	635	532	472	11.60	
3	829	451	488	12.12	
4	667	540	465	11.80	
5	598	502	447	7.80	一部腐朽



第1図 試料の加工

撮影装置CMB2型を用い、撮影条件を電圧19kV、電流2.5mAで照射時間39秒とした。フィルムの濃度測定はコニカメディカル(株)製マイクロフォトメータ2111型で行った。

繊維傾斜度測定用試料は繊維方向の高さを30mmとし、相対する2方向について割裂法で繊維傾斜度を測定した。なお、髄から同一年輪上に現れる2つの傾斜度の平均値をその年輪の代表値とした。

強度試験は、曲げ試験(20×20×320 mm)と圧縮試験(20×20×40 mm)をJIS Z2101に準拠して行った。

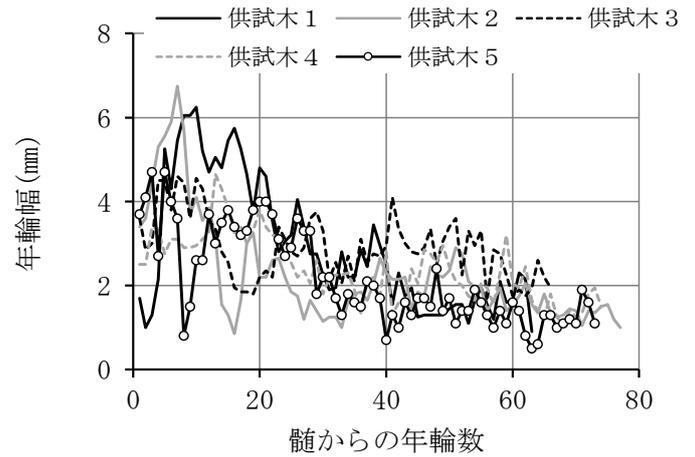
### 3. 結果

#### 3.1 年輪解析

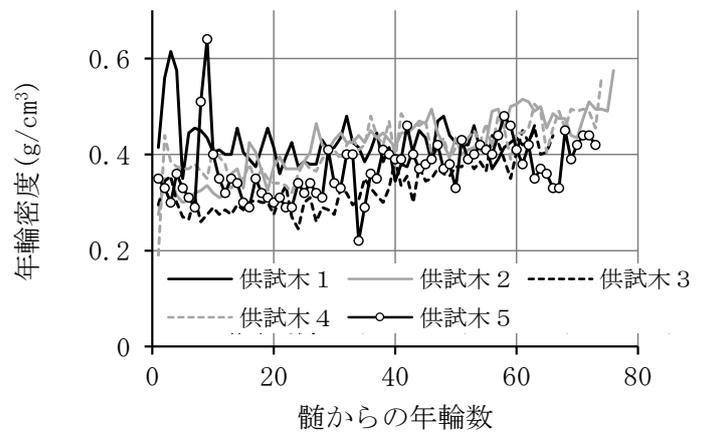
第2図と第3図に年輪幅と年輪密度の半径方向の変動を示す。併せて第2表に外側20年輪分を平均化した年輪解析結果を示す。供試木は同一の小班から切り出したにもかかわらず、年輪幅、年輪密度の個体差は大きかった。年輪幅は30年以降1~3mmの範囲で緩やかに狭くなっていく一方、年輪密度は徐々に高くなる傾向にあった。

#### 3.2 繊維傾斜度

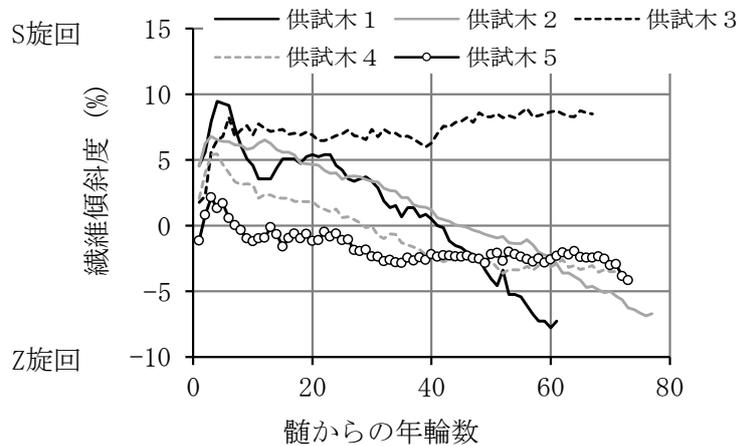
第4図に割裂法により求めた繊維傾斜度の半径方向の変動を示す。値はプラス側をS旋回、マイナス側をZ旋回とした。供試木5本中4本で繊維傾斜度は



第2図 年輪幅の変動



第3図 年輪密度の変動



第4図 繊維傾斜度の変動

第2表 軟X線デンストメトリ法による年輪解析結果

供試木番号	年輪幅 (mm)	晩材幅 (mm)	晩材率 (%)	年輪密度 (g/cm <sup>3</sup> )	早材密度 (g/cm <sup>3</sup> )	晩材密度 (g/cm <sup>3</sup> )
1	2.03	0.45	21.9	0.43	0.33	0.69
2	2.09	0.63	29.9	0.50	0.36	0.76
3	3.18	0.61	19.3	0.40	0.31	0.73
4	2.45	0.69	28.2	0.46	0.32	0.77
5	1.73	0.49	28.1	0.41	0.31	0.62

\*外側の20年輪分

髓から数年はS旋回方向の傾きが大きくなっていったが、徐々にその値は低下し、Z旋回に移行するねじれ返しが起こっていた。年輪幅や年輪密度と同様に、繊維傾斜度の個体差は大きかった。このねじれ返しが起こる傾向は、ヨーロッパトウヒの原産地での傾向と同様である<sup>4)</sup>。

### 3.3 強度試験

髓からの距離別の圧縮強度、曲げ強度、曲げヤング率の変動を第5図～第7図に示す。圧縮強度、曲げ強度、曲げヤング率は髓から外側に向かって微増している。これは第2図で示した年輪密度の結果と傾向が一致する。

強度試験の結果を第3表に一括して示す。今回の芦別産ヨーロッパトウヒは、文献値<sup>2)</sup>の旭川産ヨーロッパトウヒと年輪幅、気乾密度において近い値を示している。圧縮強度、曲げ強度は芦別産の方が、旭川産より高いが、曲げヤング率はほぼ同じであった。また、芦別産は富良野産<sup>3)</sup>に比べて年輪幅が狭く、それに伴い年輪密度、強度、ヤング率が高かった。

### 謝辞

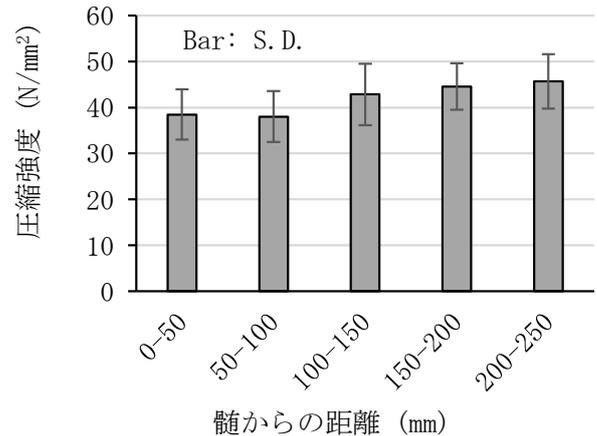
この研究を実施するにあたり、北海道森林管理局より供試木の提供を受けて行いました。ここに感謝の意を表します。

### 付記

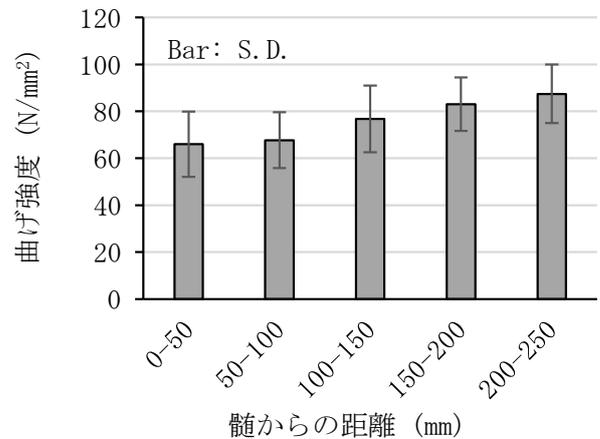
本研究の一部は、日本木材学会北海道支部・令和元年度（第51回）研究発表会で発表した。

### 4. 引用文献

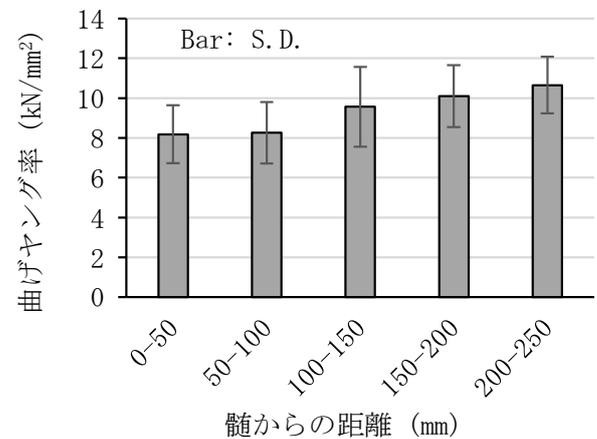
- 1) 梅木清：ヨーロッパトウヒ間伐試験地の林分成長と間伐の個体成長・形態に対する影響，北海道林業試験場研究報告(38)，37-46(2001)。
- 2) 川口信隆，高橋政治：旭川営林支局神楽見本林の外国産樹種の材質試験，日本木材学会北海道支部講演集(14)，16-20(1982)。
- 3) 高橋政治，滝沢忠昭，大久保勲，川口信隆：トドマツおよびヨーロッパトウヒ人工林材の材質，林産試験場場報(8)，No.1，14-20(1994)。



第5図 圧縮強度の変動



第6図 曲げ強度の変動



第7図 曲げヤング率の変動

- 4) J. M. Harris: "Spiral Grain and Wave Phenomena in Wood Formation", Springer Series in Wood Science (1989).
- 5) (社)日本木材加工技術協会：日本の木材(1989)。

第3表 強度試験結果

供試木 番号	試験体数	年輪幅 (mm)	気乾密度 (g/cm <sup>3</sup> )	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げ強度 (N/mm <sup>2</sup> )	曲げヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )
1	11	3.03 (1.21)	0.43 (0.03)	43.1 (3.4)	77.7 (6.3)	9.3 (1.2)
2	11	2.57 (0.70)	0.48 (0.02)	48.2 (3.9)	91.7 (7.0)	11.2 (0.9)
3	10	3.22 (0.32)	0.41 (0.02)	39.4 (2.5)	70.1 (6.5)	8.6 (0.6)
4	10	2.79 (0.53)	0.51 (0.02)	49.6 (4.0)	95.4 (7.5)	12.2 (0.8)
5	9	2.53 (0.93)	0.41 (0.03)	39.0 (6.0)	68.4 (10.0)	8.3 (1.1)
平均	51	2.83 (0.85)	0.45 (0.05)	44.0 (5.9)	81.1 (13.2)	10.0 (1.8)
旭川産 <sup>2)</sup>		3.0	0.46	37.2	73.4	9.9
富良野産 <sup>3)</sup>		5.4	0.39	41.5	66.3	8.9
トドマツ <sup>5)</sup> <i>Abies sachalinensis</i>			0.40	34.3	63.7	7.8

\*表中の()内は標準偏差を示す。

—利用部 資源・システムグループ—

(原稿受理：2021.11.10)

# 林地に放置された丸太の燃料品質

山田 敦, 西宮 耕栄, 檜山 亮, 安久津 久

## Fuel quality of logs left in the forest

Atsushi YAMADA, Kouei NISHIMIYA, Ryo HIYAMA, Hisashi AKUTSU

キーワード：木質バイオマス燃料，林地残材，発熱量，水分，腐朽

再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）の導入等により，北海道では85万 $\text{m}^3$ の未利用材（間伐材・林地残材等）をエネルギー利用している。これらは伐採後，一定期間，林地に放置される場合がある。本研究では林地に放置された丸太の燃料性能について調査した。放置期間が長くなるに従い，水分の上昇や腐朽による密度の低下が認められたことから，速やかに林地から搬出することが望ましいと示唆された。

### 1. はじめに

2019年度，北海道では年間138万 $\text{m}^3$ の木質バイオマスをエネルギー利用している。その半分以上（72万 $\text{m}^3$ ）は再生可能エネルギー固定価格買取制度（FIT）による大型木質バイオマス発電所（9施設）での利用だが，未利用材（間伐材・林地残材等）の使用量は85万 $\text{m}^3$ と，都道府県別では全国一位である<sup>1)</sup>。

これらの木質バイオマスは伐採後，一定期間，林地や土場に放置される場合がある。筆者らは，バイオマス発電所の土場に保管された丸太の水分等を測定し，適正な保管期間について検討した<sup>2)</sup>。本研究では林地に放置された丸太について調査し，燃料品質を明らかにしたので報告する。

### 2. 調査方法

#### 2.1 試料

調査はH29年9月11日，オホーツク管内津別町町有林の伐採跡地（15地点）に放置（0.9～9年）されたトドマツ（第1図）及びカラマツを対象として実施した。形状は様々であったが任意に5本のサンプルを選び，中央部より厚さ20mmの円板を採取し試料とした。

得られた試料は全乾法により水分（湿量基準）を測定するとともに，体積及び乾燥後の重量から絶乾時の密度を計算した。



第1図 伐採跡地の状況（トドマツ4年）

#### 2.2 燃料品質

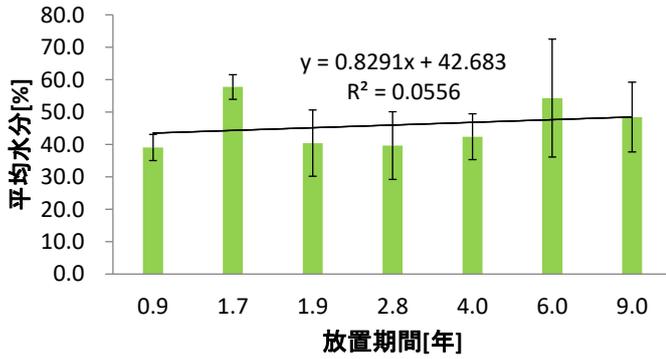
得られた試料の総発熱量，灰分をJIS M8814「石炭類及びコークス類—ボンブ熱量計による総発熱量の測定方法及び真発熱量の計算方法」，及びJIS M8812「石炭類及びコークス類—工業分析方法」に準じて測定して無水ベースで示した。

また，腐朽と発熱量の関係を検証するために定法によりクラソンリグニンを定量した。

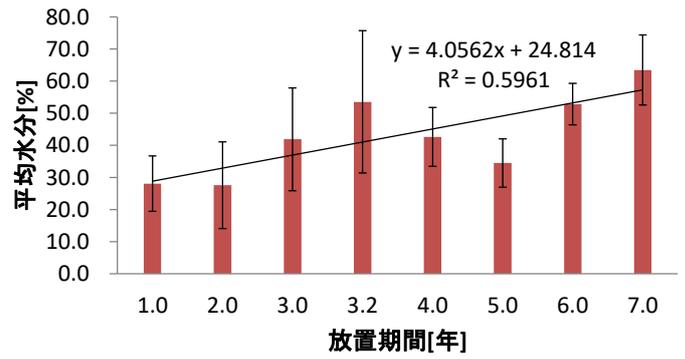
### 3. 結果と考察

#### 3.1 水分及び密度

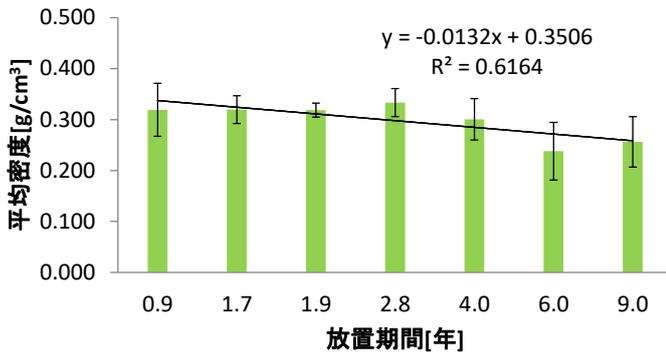
得られた試料の放置期間毎の平均水分を第2-1,2図に示す。トドマツの水分は0.9年39.1%～9.0年48.4%であり大きな変化は見られなかった。カラマツは1.0年28.1%～7.0年63.4%と，放置期間が長くなるに従い水分が増加する傾向が見られた。



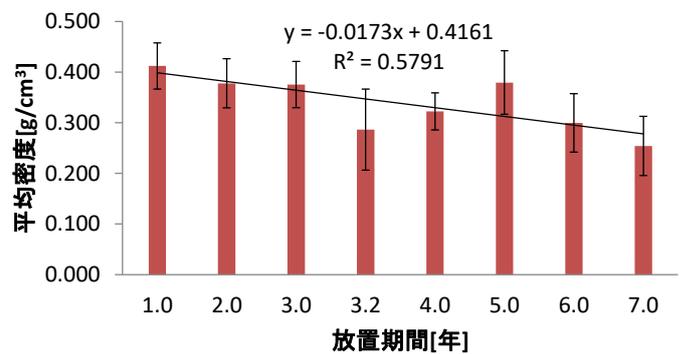
第2-1図 放置期間毎の平均水分 (トドマツ)



第2-2図 放置期間毎の平均水分 (カラマツ)



第3-1図 放置期間毎の平均密度 (トドマツ)



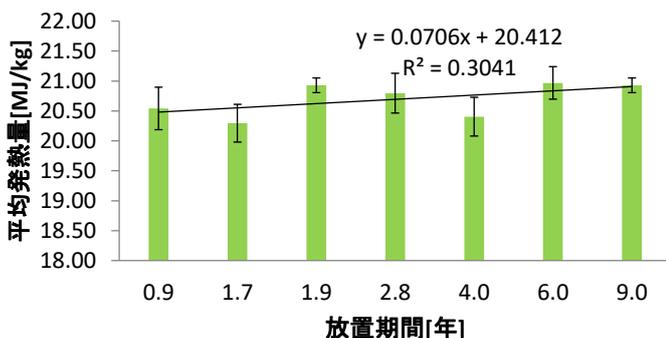
第3-2図 放置期間毎の平均密度 (カラマツ)

平均密度は、トドマツ0.9年0.319g/cm<sup>3</sup>～9.0年0.256g/cm<sup>3</sup>、カラマツ1.0年0.412g/cm<sup>3</sup>～7.0年0.254g/cm<sup>3</sup>と、放置期間が長くなると減少する傾向があった(第3-1,2図)。藤原ら<sup>3)</sup>は、主要造林樹種の収穫試験地から採取した個体の全乾容積密度を測定しており、トドマツ0.323±0.007 g/cm<sup>3</sup>、カラマツ0.409±0.013g/cm<sup>3</sup>と報告している。目視による腐朽も認められたことから、腐朽による重量減少が密度に影響したと考えられた。

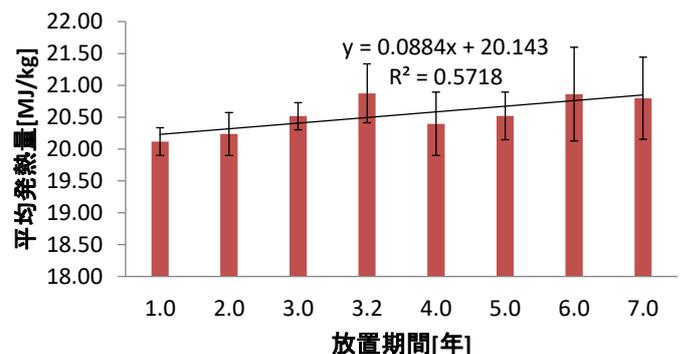
### 3.2 燃料品質

第4-1,2図に放置期間毎の平均発熱量を示す。トドマツ0.9年20.54MJ/kg～9.0年20.93MJ/kg、カラマツ1.0年20.12J/kg～9.0年20.83MJ/kgと、重量あたりの発熱量は放置時間が長くなるに従い、わずかに上昇する傾向が見られた。

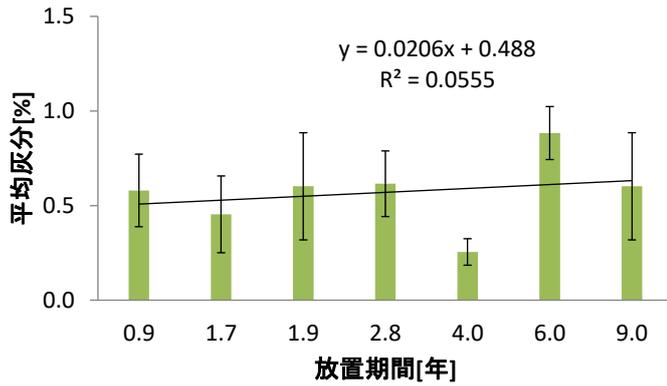
灰分については、バラツキは大きいけどドマツ、カラマツとも1%以内であり(第5-1,2図)、放置期間より、土砂付着等の影響が大きいと考えられた。



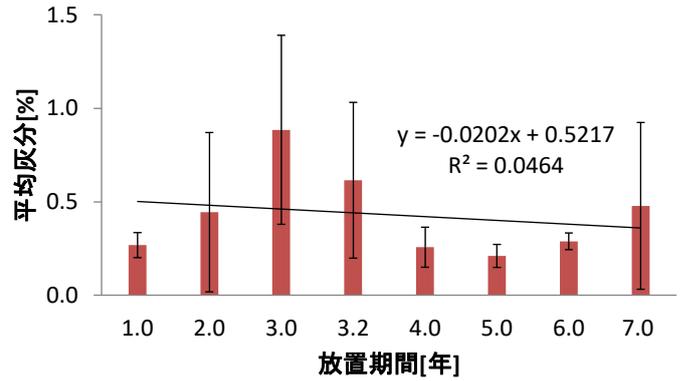
第4-1図 放置期間毎の平均発熱量 (トドマツ)



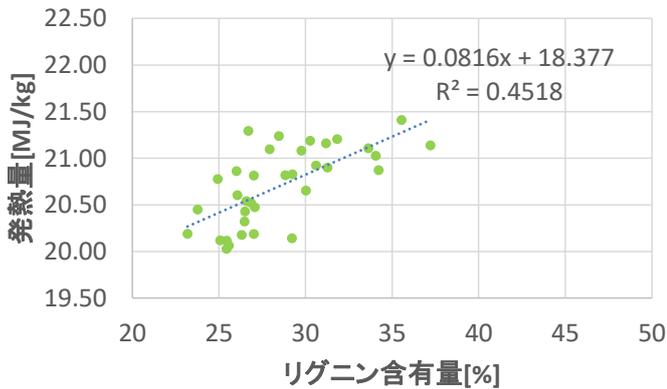
第4-2図 放置期間毎の平均発熱量 (カラマツ)



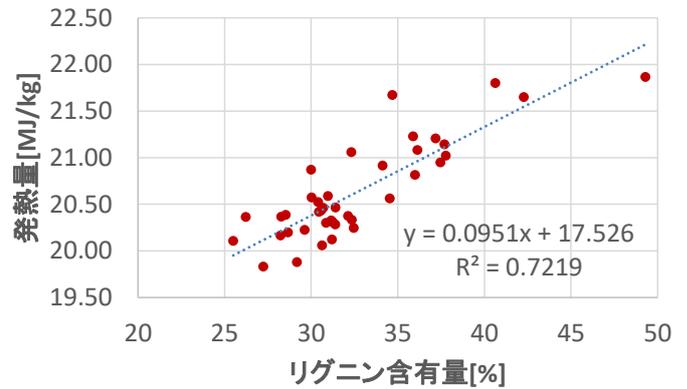
第5-1図 放置期間毎の平均灰分 (トドマツ)



第5-2図 放置期間毎の平均灰分 (カラマツ)



第6-1図 発熱量とリグニン含有量の相関 (トドマツ)



第6-2図 発熱量とリグニン含有量の相関 (カラマツ)

川瀬ら<sup>4)</sup>は木材が腐朽によりリグニンリッチとなることを報告している。リグニン含有量と灰分補正した発熱量には有意な相関があり (第6-1,2図), 腐朽により発熱量が高いリグニン<sup>5)</sup>が増えたことが発熱量上昇の一因となったと考えられた。

### まとめ

燃料利用を前提とした場合, できるだけコストを抑える必要があることから, 天然乾燥による水分低減に関する研究が国内外において行われている<sup>6,7)</sup>。しかし, 土場には積みした場合<sup>2)</sup>と異なり, 林地に放置した場合は水分の減少は期待できなかった。

放置期間が長くなるにつれて発熱量の若干の上昇は見られたものの, 水分の上昇や腐朽による密度の低下が認められたことから, 燃料品質を確保するためには速やかに林地から搬出することが望ましいと考える。

### 参考文献

1) 北海道水産林務部林業木材課: 木質バイオマスエネルギーの利用状況 (2020).

2) 山田敦ら: バイオマス発電所土場に保管された丸太の燃料品質, 第67回日本木材学会大会要旨集, Q18-P2-01 (2017).

3) 農林水産省農林水産技術会議: 透明かつ検証可能な手法による炭素吸収源の評価に関する研究, 研究成果427, p.5 (2005).

4) 川瀬清, 五十嵐恒夫: 腐朽材チップとそのパルプ, 北大演習林報告, 27(1), pp.161-295 (1970).

5) 平田利美, 阿部房子: 木質系燃料, 木材工業, 36(10), pp.470-475 (1981).

6) Defo. M., et al.: A log drying model and its application to the simulation of the impact of bark loss, Forest Products Journal, 56(5), pp.71-77 (2006).

7) 渡辺憲ら: 階層ベイズモデルを用いた丸太の天然乾燥における乾燥時間の推定および丸太の諸形質が乾燥性に及ぼす影響の評価, 木材学会誌, 63(2), pp.63-72 (2017).

ー利用部 バイオマスグループ  
(原稿受理: 2021.9.3)

# 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討 (5) 灰の明度と融雪効果

折橋 健, 安久津 久\*<sup>1</sup>, 原田 陽\*<sup>2</sup>

## Study on the use of woody biomass combustion ash (5) Ash brightness and snow melting effect

Ken ORIHASHI, Hisashi AKUTSU, Akira HARADA

キーワード：地域エネルギー，木質バイオマス，燃焼灰，融雪効果

塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰について融雪試験を実施し，融雪効果を既存の融雪資材（炭酸カルシウム，石炭灰）と比較するとともに，灰の明度と融雪効果の関係について検討した。また，融雪効果がやや劣る灰について，効果の改善方法を検討した。

### 1. はじめに

近年道内では，木質バイオマスの地域エネルギー利用が拡大しており，従来の利用先（木材産業や製紙産業など）に加えて発電施設，公共施設，医療機関・福祉施設，宿泊施設・浴場，洗濯業等で利用が広がりつつある。一方，こうした利用の進展に対して，木質バイオマス燃焼灰（以下，灰とする）の有効利用を図ることが重要となっており，林産試験場に対しても，道内の自治体やエネルギー事業者からの相談が増えている。そこで著者らは，塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな灰について，性状分析<sup>2)</sup>や用途の検討<sup>3,4)</sup>を行っており，用途については，農用地等での幅広い利用を念頭に，融雪資材およびpH矯正資材を考えている。

融雪資材化に向けたこれまでの検討の中で，灰は，既存の農用地向け融雪資材に対して概ね同等の融雪効果を示した<sup>3,4)</sup>。一方，乾燥状態の灰の明度には幅があり，見た目の色が黒に近いものから白に近いものまで様々であるため，灰の明度と融雪効果の関係については，さらにデータの蓄積が必要と考えられた。そこで本研究では，道内で採取した灰を明度によって3段階に分け，各段階より灰2試料を供試して融雪効果を比較した。また，比較において融雪効果がやや劣る灰が認められたため，その効果を改善

する方法について検討を行った。

### 2. 試験方法

#### 2.1 試験1：灰の明度と融雪効果の関係把握

##### 2.1.1 灰および資材

道内の木質専焼ボイラー5基（350～1200kW）より，乾燥状態の灰10試料（主灰5，飛灰5）を採取した。その明度（ $L^*$ ）を測色色差計（日本電色工業製，ZE6000）にて測定したところ，30～56であった。そこで，明度を30，40，50台の3段階に分け，各段階より2試料ずつ，計6試料を選んで融雪試験に用いた（第1表）。また，融雪効果の比較用として，既存の農用地向け融雪資材である炭酸カルシウム（商品名：防散融雪タンカル）と石炭灰（商品名：融雪アッシュ）を使用した（第1表）。

灰および石炭灰は，目の開きが1mmのふるいにかけて，1mmパスの画分を供試した。炭酸カルシウムは粒状物であったが，目の開きが1mmのふるいを通るように粉碎して供試した。また，水分を含んだ状態での上記試料の明度を把握するため，重量ベースで試料2に対して水1の割合で混合し，水分33%に調整したものについて，測色色差計で明度測定を行った。

##### 2.1.2 融雪試験

試験地は，林産試験場内の日射を遮るものがない

第1表 供試した灰，資材の明度 ( $L^*$ )

試料	明度 ( $L^*$ )	目視による色	備考
灰30A	32	スレートグレイ	主灰
木質燃焼灰	灰30B	30	スレートグレイ
	灰40A	40	朽葉色
	灰40B	41	灰茶
	灰50A	55	ベージュ
灰50B	54	砂色	飛灰
炭酸カルシウム	30	チャコールグレイ	市販
石炭灰	46	グレイ	融雪用

明度 ( $L^*$ ) : 0~100の値を取り，黒いほど0に，白いほど100に近い値となる。目視による色 : JIS慣用色名で標記<sup>5)</sup>。試料水分 : 湿重基準で2%未満であった。

場所に設けた。その中に，1m×1mの区画を計27区画作成した。区画どうしの間隔は1.5m以上確保した。灰6区，比較用資材2区および無散布区の計9区に対し，各3区画を無作為に割り当てた。

灰や資材の散布は，2020年の2月下旬に行った。散布量は，既存資材の散布量を目安に区画あたり20g (20g/m<sup>2</sup>) とした。散布時の積雪は約55cmで，積雪の状態は地面～地上約35cmがざらめ雪，同約35~45cmがこしまり雪，同約45~50cmがざらめ雪，同約50cm~雪上が新雪であった。各区画の中央部に積雪測定点を2点設け，散布後の積雪減少量 (2点平均) を調べた。測定期間中，降雪があった場合には測定を中断した。雪が止んだ後，慎重に除雪を行って散布面を露出させた。全ての区画の除雪が終了した段階で積雪深を測定し，そこから測定を再開した。降雪前最後の測定時と除雪後最初の測定時では，積雪深が若干異なる区画もあったが，一律積雪減少がなかったものとし，中断期間の日数は散布後の経過日数から除外した。測定は，融雪効果の比較に用いた炭酸カルシウムおよび石炭灰の散布区における積雪減少量が30cmに達した日に終了した。試験地付近における測定期間中の日平均気温は，平均値で-5.4℃であった。

## 2.2 試験2 : 融雪効果改善方法の検討

### 2.2.1 灰および資材

試験1において融雪効果がやや劣った灰50Aを検討に用いた。また，融雪効果の改善用に市販の木炭 (商品名 : 融雪炭素，明度 ( $L^*$ ) : 17) を，比較用に試験1と同じ石炭灰を供試した。これらの灰や資材については，試験1と同様に目の開きが1mmのふる

いをパスした画分を用いた。

### 2.2.2 融雪試験

融雪試験の場所や方法は，次に記載する事項を除き，試験1と同様である。灰50Aの融雪効果を改善する方法として，散布量の増量および木炭 (黒色物質) との混合を検討した。試験区は，灰1倍量区，灰1.5倍量区，灰と木炭の乾物重量比7 : 3混合区 (明度 ( $L^*$ ) : 42，以下，灰・木炭混合区) ，および石炭灰区の計4試験区とした。散布量は区画あたり20g (20g/m<sup>2</sup>) とし，灰1.5倍量区のみ30g (30g/m<sup>2</sup>) とした。散布は2020年の3月上旬に行った。散布時の積雪は約55cmで，積雪の状態は地面～地上約32cmがざらめ雪，同約32~40cmがこしまり雪，同約40~48cmがざらめ雪，同約48cm~雪上がこしまり雪であった。試験地付近における測定期間中の日平均気温は，平均値で-1.7℃であった。

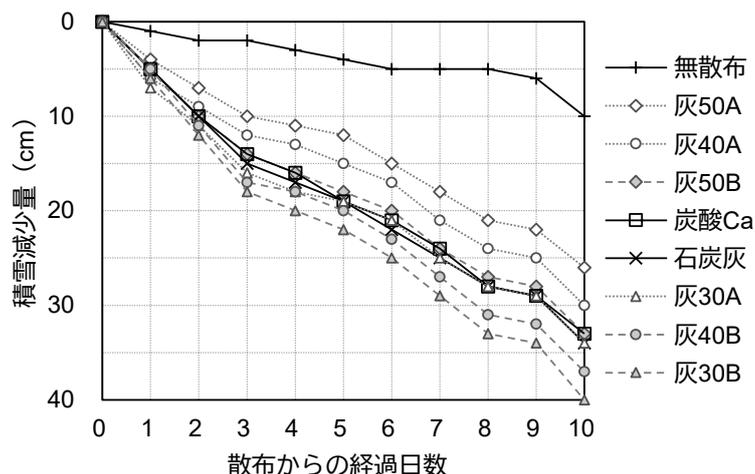
## 3. 結果と考察

### 3.1 灰の明度と融雪効果の関係

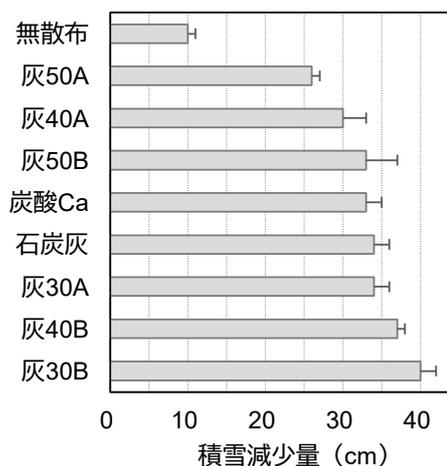
試験1における積雪減少量の推移を第1図に示す。灰や資材の散布区における積雪減少量は，無散布区よりも常に大きく，散布による融雪効果が認められた。既存の農用地向け融雪資材である炭酸カルシウム，石炭灰の散布区では，積雪減少量が30cmに到達するまでの日数が10日であった。これに対して灰散布区では，灰50Aを除いて30cm到達日数が8~10日であった。灰50Aについては，10日で26cmの積雪減少があり，平均値 (2.6cm/日) ペースでは30cm到達日数が12日と推計された。このように，灰の融雪効果は既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比べて概ね同等以上だったが，やや劣る場合もあることが示された。

第2図に経過日数10日における積雪減少量を大きさの順に並べて示す。積雪減少量が最も大きかったのは明度が30台の灰30Bであるのに対し，無散布区を除き減少量が最も小さかったのが明度50台の灰50Aであり，灰の明度が融雪効果に影響するように見える。しかしその他の灰については，明度と積雪減少量の関係がはっきりとせず，明度が30台の灰30Aと50台の灰50Bの間でも積雪減少量に大差がなかった。全体的には，乾燥状態での灰の明度と融雪効果の関係は不明確であったと言える。

灰による融雪の仕組みについては，1つには灰粒子が太陽光線を吸収し，これを熱として周囲に放出



第1図 試験1での積雪減少量の推移 (平均値, n=3)



第2図 試験1における散布からの経過日数10日における積雪減少量 (平均値と標準偏差, n=3)

することによる機構が考えられる。本研究で着目した灰の明度は、この機構に関係する可能性があるが、上記のとおり、乾燥状態で測定した灰の明度と融雪効果との間には明瞭な関係は認められなかった。これに関連して、水分を含んだ灰の明度を第2表に示す。乾燥状態での明度 (第1表) と比べて総じて値が小さく、目視でも黒みが増していた。これは、灰が水分を含むことにより光を反射しにくくなる (光の吸収率が上がる) ことを意味するが、灰の雪上散布時においてもこれと同様の現象が起こると考えられる。もし、灰の色が一定以上の黒さに達すると、融雪効果に差が出にくくなるとすれば、上記の結果 (第2図) も起こり得ると思われる。

一方、灰による融雪の別の仕組みとして、灰の含有成分による化学的な機構、例えば、凍結防止剤 (塩化カルシウム等) と同様の機構 (灰に含まれる無機塩が水に溶けることで生じる溶解熱や凝固点降下による融雪) が考えられ、この影響により上記の結果 (第2図) となった可能性もある。これに関連して、本試験では、明度が近い場合でも飛灰の方が主灰よりも積雪減少量が大きくなる傾向が伺えた。著者らによる灰の性状分析<sup>2)</sup> では、主灰と飛灰で無機成分の組成が幾分異なることを把握しており、その影響の可能性が示唆される。

以上のように、灰の明度と融雪効果の関係が不明確であったことについては、物理的、化学的の両面からその可能性が考えられる。このため、要因解明にはこれらを考慮した検討が必要と考えられる。

### 3.2 融雪効果の改善方法

第3図に試験2における積雪減少量の推移を、第4図に経過日数5日における積雪減少量を示す。灰・

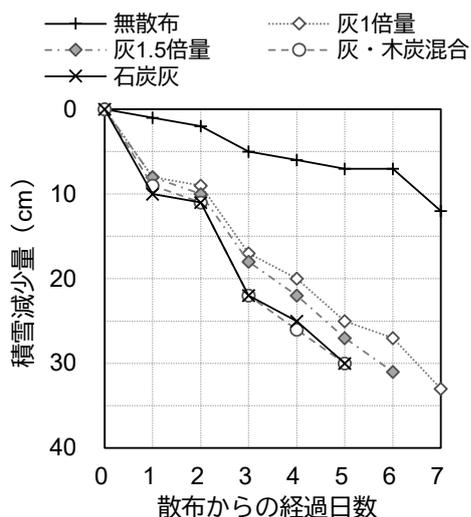
第2表 水分を含む灰、資材の明度 ( $L^*$ )

試料	明度 ( $L^*$ )	目視による色	備考
灰30A	14	黒	主灰
木質燃焼灰 灰30B	10	黒	飛灰
灰40A	19	墨	主灰
灰40B	18	墨	飛灰
灰50A	34	すす竹色	主灰
灰50B	26	スレートグレイ	飛灰
炭酸カルシウム	9	黒	市販
石炭灰	29	藍鼠	融雪用

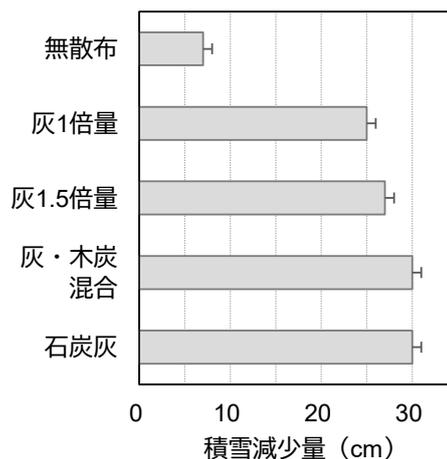
明度 ( $L^*$ ) および目視による色：第1表に同じ。試料水分：湿重基準で33%に調整した。

木炭混合区については、比較対象である石炭灰区とほぼ同様の推移を示した。また、灰1.5倍量区は、灰1倍量区と石炭灰区の間に位置する形で推移した。積雪減少量が30cmに到達するまでの日数は、石炭灰区と灰・木炭混合区で5日、灰1.5倍量区で6日、灰1倍量区で7日であった。

本研究では、融雪効果の改善方法として散布量の増量と木炭との混合を試みたが、以上のように後者の方がより効果的な方法であった。前者に関しては、増量の割に効果が弱いと考えられた。このため、改善に向けて散布量のさらなる増量も思い浮かぶが、灰は強いアルカリ性資材であり、多様な無機微量元素を含むことから、融雪水や散布地土壌の安全性確保を考慮し、検討は慎重に行うべきと思われる。一方後者については、黒色物質である木炭との混合により、散布面における太陽光線の吸収と熱放出の機構が改善されたものと推測される。



第3図 試験2での積雪減少量の推移 (平均値, n=3)



第4図 試験2における散布からの経過日数5日における積雪減少量 (平均値と標準偏差, n=3)

#### 4. まとめ

塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する、いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰6試料について融雪試験を実施した。その中で、6試料の融雪効果を既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比較するとともに、灰の明度と融雪効果の関係について検討した。また、融雪効果がやや劣る灰について、効果の改善方法を検討した。これらの検討により以下の結果を得た。

- 灰6試料の融雪効果は、既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比べて概ね同等以上だったが、やや劣る場合も認められた。
- 乾燥状態で測定した灰の明度と融雪効果の関係は明らかではなかった。
- 融雪効果がやや劣る灰における融雪効果の改善方法として、散布量の増量よりも木炭との混合の方が有効であった。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、燃焼灰のご提供元、ならびに融雪試験にご協力いただいた皆様に、厚くお礼申し上げます。

#### 引用文献

- 1) 北海道水産林務部林務局林業木材課木質バイオマス係：林産試だより2020年11月号, 10 (2020).
- 2) 折橋健・安久津久・丹羽忍・大塚英幸：木材学会誌67(1), 33-43 (2021).
- 3) 折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久：日本木材学会北海道支部講演集49, 61-64 (2017).
- 4) 折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久・原田陽：日本木材学会北海道支部講演集51, 29-31 (2019).
- 5) 財団法人日本色彩研究所：“デジタル色彩マニュアル”, クレオ, 東京 (2004).

—企業支援部 研究調整グループ—

—\*1：利用部 資源・システムグループ—

—\*2：利用部 微生物グループ—

(原稿受理：2021.10.14)

# 木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討 (6) 酸性土壌に対するpH矯正力

折橋 健, 安久津 久\*<sup>1</sup>, 原田 陽\*<sup>2</sup>

## Study on the use of woody biomass combustion ash (6) The corrective effect of pH on acidic soil

Ken ORIHASHI, Hisashi AKUTSU, Akira HARADA

キーワード：地域エネルギー，木質バイオマス，燃焼灰，pH矯正，酸性土壌

塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰の利用法として，本研究では酸性土壌に対するpH矯正資材に着目し，道内で採取した灰のpH矯正力を測定するとともに，灰の化学的性状とpH矯正力との関係について検討した。

### 1. はじめに

近年道内では，木材産業や製紙産業をはじめ，発電施設，公共施設，医療機関・福祉施設，宿泊施設・浴場，洗濯業等のエネルギー源として，木質バイオマスの利用が広がりつつある<sup>1)</sup>。これに伴って，木質バイオマス燃焼灰（以下，灰とする）の有効利用を図ることが重要となってきた。そこで著者らは，塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな灰について，性状分析<sup>2)</sup> や用途の検討<sup>3,4)</sup>を進めている。

灰は，カルシウムやカリウム等の無機塩を多く含んでおり，その水溶液は強アルカリ性を示す<sup>2)</sup>。一方，道内では，農用地等の土壌酸性化に対して炭酸カルシウムなどの石灰質資材が施用され，pH矯正が行われている。これらのことから灰は，酸性土壌に対するpH矯正資材として利用できる可能性がある。そこで本研究では，道内で採取した灰のpH矯正力を測定するとともに，灰の化学的性状とpH矯正力との関係について検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 灰

道内の木質専焼ボイラー9基（50～1200kW）より，クリーンな灰（主灰，もしくは主灰と飛灰の混合灰）を採取した。このうち，異なるボイラーから採

取した灰に関してpH矯正力の違いを把握する目的で，ボイラー7基（A～G）から各1試料，計7試料を得た（第1表）。また，同一ボイラーから採取したロットの異なる灰についてpH矯正力の差異を把握する目的で，ボイラーXから3ロット分の，ボイラーYから4ロット分の試料を採取した（第2表）。各試料は，目の開きが1mmのふるいにかけて，1mmパスの画分を供試した。

#### 2.2 炭酸カルシウムおよび酸性土壌

pH矯正力の比較基準用に，炭酸カルシウムの粉末試薬（富士フィルム和光純薬製，特級）を用いた。また，酸性土壌として，第3表に示す3種類の土壌（畑地土壌，林地土壌，強酸性土壌）を供試した。土壌は風乾状態のものを目の開きが2mmのふるいにかけて，2mmパスの画分を供試した。

#### 2.3 pH矯正力の測定

pH矯正力の測定は，資材添加・通気法<sup>5)</sup>により行った。本法は，農用地のpH矯正目的で石灰質資材（炭酸カルシウム等）の土壌への施用量を決める際に使用される手法である。100mL容三角フラスコに乾物相当で土壌20g，試料5～800mgを入れ，液量が50mLになるように水を加えて攪拌した。その後24時間静置し，さらに5時間水平振とう（150～160rpm）した。そして得られた土壌溶液に毎分2Lの割合で2分間通気を行った後，速やかに土壌溶液

第1表 ボイラーA～Gより採取した供試灰

試料名称	種別	ボイラー		燃料
		名称	出力 (kW)	
灰A	混合灰	A	400	主に針葉樹
灰B	主灰	B	350	主に針葉樹
灰C	主灰	C	1200	主に針葉樹
灰D	主灰	D	550	主に針葉樹
灰E	主灰	E	700	主に針葉樹
灰F	混合灰	F	200	主に広葉樹
灰G	主灰	G	360	主に針葉樹

混合灰：主灰と飛灰の混合物である

第2表 ボイラーX, Yより採取した供試灰

試料名称	種別	ボイラー		燃料
		名称	出力 (kW)	
灰X1	主灰			
灰X2	主灰	X	225	主に針葉樹
灰X3	主灰			
灰Y1	主灰			
灰Y2	主灰			
灰Y3	主灰	Y	50	主に針葉樹
灰Y4	主灰			

第3表 供試した酸性土壌の性状

試料名称	採取地目	土壌統群名	pH	腐植			備考
				C (%)	N (対乾物土壌)		
畑地土壌	農耕地	細粒灰色台地土	6.20	1.6	0.14	2.8	作土
林地土壌	林地	中粗粒褐色森林土	4.80	7.3	0.49	12.6	地拵え地の表層 (0~10cm) 土
強酸性土壌	農耕地	中粗粒強グライ土	3.50	2.0	0.15	3.4	下層の酸性硫酸塩土壌の混入作土

pH：資材添加・通気法（灰無添加時）の値

のpHを測定した。以上の操作は20~22℃の環境下で行った。pH矯正力は、土壌溶液のpHを6.5にするのに要した試料添加量より式(1)を使用して算出し、炭酸カルシウムのpH矯正力を1とした場合の相対値で示した。

$$\text{灰のpH矯正力} = \left[ \text{土壌溶液のpHを6.50とするのに要した炭酸カルシウム量 (mg/乾物土壌20g)} \right] \div \left[ \text{土壌溶液のpHを6.50とするのに要した灰量 (mg/乾物土壌20g)} \right] \quad (1)$$

## 2.4 化学分析

折橋らの報告<sup>2)</sup>に記載の方法にしたがって、灰のpH、電気伝導度（以下、ECとする）、未燃分、アルカリ3成分（CaO、MgO、K<sub>2</sub>O）の測定を行った。pHとECの測定は、固液比1:50にて行った。未燃分は、600℃における強熱減量である。アルカリ3成分は、蛍光X線分析により測定し、酸化物換算で含有割合を求めた。

また、土壌標準分析・測定法<sup>6)</sup>における乾式燃焼法により供試土壌中の炭素および窒素量を求めた。乾式燃焼には、CHNコーダー（柳本製作所製、MT-5を使用した。また、炭素量を1.724倍<sup>5)</sup>して腐植量を算出した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 灰のpH矯正力

資材添加・通気法によって供試土壌溶液のpHを6.50とするのに要した炭酸カルシウムの添加量を第4表に示す。炭酸カルシウム量は、酸性の度合いが最も弱い畑地土壌で最小であった。また、林地土壌、強酸性土壌に対する添加量は、両者の酸性の度合いに差がある割に同程度であった。林地土壌は、酸性の度合いが相対的に弱い、pH緩衝作用がある腐植を多く含むため（第3表）、添加量あたりのpHの上昇が鈍く、結果として強酸性土壌並みの炭酸カルシウム量を要したものと考えられる。

第5表に、異なるボイラー（A～G）から採取した灰7試料のpH矯正力について、供試土壌別に示す。pH矯正力は灰試料間で違いが認められ、畑地土壌では0.4ポイント、林地土壌では0.6ポイント、強酸性土壌では0.3ポイントほどの幅があった。土壌間で比較すると、pH矯正力の数値分布には差異があり、灰のpH矯正効果は土壌によって変化することが示唆された。

第4表 供試土壌のpHを6.50とするのに要した炭酸カルシウム量 (mg/乾物土壌20g)

畑地土壌	林地土壌	強酸性土壌
8.8	182.8	180.1

第5表 灰A～Gの土壤別pH矯正力

試料	土壤別のpH矯正力*		
	畑地土壌	林地土壌	強酸性土壌
灰A	0.67	0.72	0.47
灰B	0.93	1.23	0.72
灰C	0.96	0.90	0.62
灰D	1.08	1.19	0.70
灰E	0.84	1.03	0.59
灰F	0.68	0.68	0.55
灰G	0.78	1.08	0.67

\*炭酸カルシウムのpH矯正力を1とした時の相対値である

第6表に、ボイラーXおよびYから採取したロットの異なる灰試料のpH矯正力を示す。土壤ごとに見て、ボイラーXからの3ロットの試料については、pH矯正力は安定した値であった。一方、ボイラーYからの4ロットの試料については、値がばらついており、同一ボイラーから採取した灰であっても、ロットによってpH矯正力が変化する場合もあることが明らかとなった。

### 3.2 灰の化学的性状

ボイラーA～Gから採取した灰7試料の化学的性状を第7表に示す。pHは11.8～12.8を示し、強いアルカリ性であった。水溶性塩類の濃度指標であるECは、試料間で値に幅があった。アルカリ3成分(CaO, MgO, K<sub>2</sub>O)の含有割合は、大きい方からCaO, K<sub>2</sub>O, MgOの順であり、これら3成分の合計は61.0～81.8%であった。ECと同様に試料間で値に幅があった。未燃分は1.7～6.8%であった。廃棄物焼却施設では、焼却灰を本研究と同様に強熱処理した際、その減量(未燃分)が10%以下であれば完全燃焼と判断されている<sup>7,8)</sup>。この指標を準用した場合、ボイラーA～Gは十分な燃焼状態であったと考えられる。

灰7試料の化学的性状については、以上のように多くの項目で値に幅があった。このようなばらつきは、燃料性状(例えば、樹種、樹皮比率、土砂混入状況)やボイラー機種(機構)、燃焼条件(状態)の影響によって発生すると考えられる<sup>9-11)</sup>。今回の7試料に関しては、ボイラーの燃焼状態がいずれも良好であったと考えられることから、燃料性状やボイラー機種の違いが化学的性状の差異をもたらしていると推測される。

第6表 灰X1～3, 灰Y1～4の土壤別pH矯正力

試料	土壤別のpH矯正力*		
	畑地土壌	林地土壌	強酸性土壌
灰X1	0.76	0.92	0.62
灰X2	0.80	0.90	0.62
灰X3	0.70	0.82	0.55
灰Y1	0.77	0.77	0.47
灰Y2	0.59	0.68	0.36
灰Y3	0.42	0.37	未測定
灰Y4	0.47	0.48	0.28

\*第5表に同じ

第8表に、ボイラーXおよびYから採取したロットの異なる灰試料の化学的性状を示す。ボイラーXの各性状値は、3ロットの試料間でばらつきが少なく安定しており、未燃分は良好な燃焼の目安(10%以下)の範囲内であった。一方、ボイラーYの各性状値は、4ロットの試料間でばらつきが大きく、未燃分は良好な燃焼の目安(10%以下)から外れる場合もあった。

両ボイラーはいずれも暖房用であり、一定品質の燃料を使用している。両者の違いは燃焼条件であり、ボイラーXは常時一定条件で運転されているのに対し、Yは暖房先の室温が所定温度に達すると燃焼が停止する間断運転である。先にも触れたように、灰の化学的性状は、燃料性状、ボイラー機種(機構)、燃焼条件(状態)の影響を受けると考えられる<sup>9-11)</sup>が、ボイラーYではこのうちの燃焼条件が変化しやすいために、化学的性状値が4ロットの試料間でばらつき、燃焼不良の形跡もみられたものと推測される。

### 3.3 灰のpH矯正力と化学的性状の関係

ボイラーA～GおよびX, Yから採取した灰、計14試料のデータを用いて、供試土壤別にpH矯正力と化学的性状値との間の相関係数を求めた(第9表)。その結果、pH矯正力は、いずれの土壤においてもアルカリ3成分(CaO, MgO, K<sub>2</sub>O)の合計含有割合との間で最も強い正の相関を示し、これに次いでECとの間で強い正の相関を示した。一方、pH矯正力と個々のアルカリ成分との相関関係については、畑地土壌におけるCaO含有割合との間での正の相関を除いて明瞭ではなく、pHや未燃分とpH矯正力の関係も不明瞭であった。

第7表 灰A～Gの化学的性状

試料	pH	EC	アルカリ3成分 (%)				未燃分 (%)
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	合計	
灰A	12.1	3.3	42.1	5.8	13.1	61.0	1.7
灰B	11.8	8.2	40.7	7.3	31.2	79.2	6.8
灰C	12.8	11.5	61.3	3.8	13.5	78.6	4.7
灰D	12.8	13.2	55.5	6.1	20.2	81.8	3.6
灰E	12.7	9.0	47.0	5.7	22.7	75.4	2.8
灰F	12.6	7.2	45.1	5.9	17.3	68.3	2.5
灰G	12.6	10.0	43.8	7.3	26.1	77.2	3.7

%：試料乾物重量あたり

第8表 灰X1～3, 灰Y1～4の化学的性状

試料	pH	EC	アルカリ3成分 (%)				未燃分 (%)
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	合計	
灰X1	12.4	8.9	33.1	6.3	27.8	67.2	4.1
灰X2	12.4	9.0	33.2	6.3	28.6	68.1	3.1
灰X3	12.5	8.4	39.2	6.0	25.1	70.3	2.6
灰Y1	12.7	9.3	50.5	6.0	15.2	71.7	3.5
灰Y2	12.2	5.4	35.2	6.9	21.1	63.2	4.0
灰Y3	11.8	2.7	26.4	6.1	19.1	51.6	18.8
灰Y4	12.0	3.1	32.6	6.3	18.5	57.4	11.1

%：試料乾物重量あたり

第9表 灰14試料のpH矯正力と化学的性状の相関関係（土壌別）

	pH	EC	アルカリ3成分 (%)				未燃分 (%)
			CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	合計	
pH矯正力（畑地土壌）	0.599	<u>0.901</u>	<u>0.760</u>	-0.200	0.197	<u>0.938</u>	-0.571
pH矯正力（林地土壌）	0.419	<u>0.803</u>	0.522	0.164	0.509	<u>0.916</u>	-0.564
pH矯正力（強酸性土壌）	0.332	<u>0.782</u>	0.388	0.017	0.484	<u>0.846</u>	-0.364

表中数値：相関係数を示し、0.7以上のものには下線をつけた

以上の結果より、灰によるpH矯正には、灰に含まれるアルカリ3成分が総合的に作用していることが示唆される。また、先述のとおり、異なるボイラーA～Gの灰やボイラーYの異なるロットの灰では試料間でpH矯正力に差異があったが、ここでの結果から、試料間におけるアルカリ3成分の総量的な違いがその要因と推測される。ECは、アルカリ3成分の合計含有割合と強い正の相関（ $r = 0.911$ ）があり、このためにpH矯正力との相関も強くなったものと考えられる。

#### 3.4 pH矯正力に関する総合考察

本研究において、灰は酸性土壌各種に対してpH矯正効果を示した。実際の施用先として可能性が高

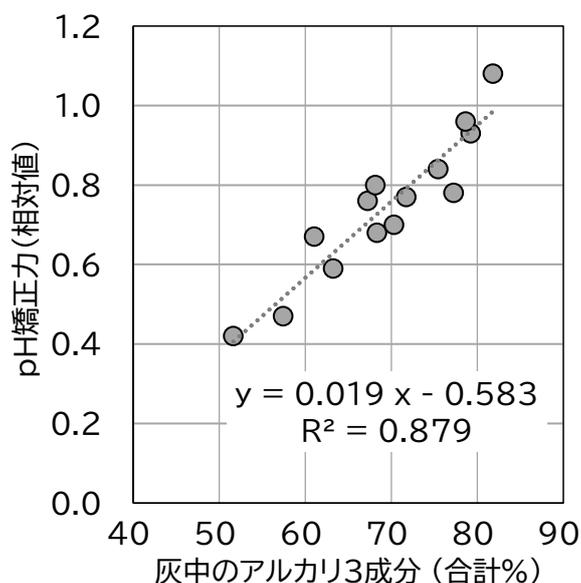
い畑地土壌ばかりでなく、腐植の多い林地土壌や強酸性の土壌であっても灰はpH矯正資材として利用できることが示唆された。しかし、灰のpH矯正効果は供試土壌によって変化したことから、pH矯正力は土壌タイプごとに把握が必要と推測された。

灰のpH矯正力は、灰に含まれるアルカリ3成分（CaO, MgO, K<sub>2</sub>O）が総合的に寄与していると示唆された。灰中のアルカリ3成分の合計含有割合は、ボイラー間で異なっていた。また、同一ボイラーでも灰ロット間で異なる場合があった。これらの差異に伴って、pH矯正力にも差が出ると推測された。アルカリ3成分をはじめとする灰の化学的性状は、燃料性状、ボイラー機種（機構）、燃焼条件（状態）

の影響を受けると考えられる<sup>9-11)</sup>。したがって、これらの条件が異なるボイラーやロットからの灰については、それぞれpH矯正力の把握が必要になると言える。

pH矯正力の把握は、それを直接測定するか、アルカリ3成分の合計含有割合やECなどpH矯正力と相関のある性状値から推定するかのパターンが考えられる。後者の場合、土壌のタイプごとに性状値とpH矯正力の関係式(第1図)を作る必要があるが、式の作成後は性状値の把握のみでpH矯正力を推定できるようになる。性状値の測定が、pH矯正力の直接測定よりも迅速、簡便、経済的で、pH矯正力の推定精度も許容レベルに達するのであれば、直接測定よりも性状値からの推定の方が有利と思われる。このようなpH矯正力の把握手法の選択に関しては、今後、データの蓄積や検討が必要である。

道内で灰を利用するのにあたり、道では「焼却灰(天然木由来)の利用の手引き」を発行し<sup>12)</sup>、この手引きに沿った事前の情報整理を求めている。このため、灰のpH矯正資材利用においても、本研究で明らかにした灰のpH矯正力に関する情報の他、手引きで求めている灰の利用や保管の際の安全性や留意事項等の情報が必要である。最初に触れたように、著者らは灰の性状分析も行っており<sup>2)</sup>、それらの結果を本研究の結果と合わせて活用しながら情報整理を進め、pH矯正資材としての利用法について、手引きに沿った情報発信をしていきたいと考えている。



第1図 灰中のアルカリ3成分 (CaO, MgO, K<sub>2</sub>O) の合計含有割合とpH矯正力との関係 (畑地土壌の例)

#### 4. まとめ

本研究では、塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する、いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰の利用法として、酸性土壌に対するpH矯正資材に着目した。道内で採取した灰のpH矯正力を測定するとともに、灰の化学的性状とpH矯正力の関係について検討した結果は以下のようにまとめられる。

- 灰は、3種類の酸性土壌(畑地土壌、林地土壌、強酸性土壌)に対してpH矯正効果を示した。また、その効果は供試土壌によって変化したことから、灰のpH矯正力は土壌タイプごとに把握が必要と考えられた。
- 灰のpH矯正力は、灰中のアルカリ3成分(CaO, MgO, K<sub>2</sub>O)の合計含有割合と強い正の相関を示し、pH矯正力に対してアルカリ3成分が総合的に寄与していると示唆された。また、灰のpH矯正力は、ECとの間でも強い正の相関を示した。
- 灰中のアルカリ3成分の合計含有割合は、ボイラー間で異なっていた。また、同一ボイラーでも灰ロット間で異なる場合があった。これらの差異に伴って、pH矯正力に差が生じると推測された。

#### 謝辞

本研究の実施にあたり、道内の関係各位より燃焼灰をご提供いただいた。土壌の採取、pH矯正力の分析に関して、北海道立総合研究機構花・野菜技術センターの古館明洋氏に多くのご助言、ご協力をいただいた。また、土壌の採取には同機構中央農業試験場の塚本康貴氏、上川農業試験場の熊谷聡氏にもご協力いただいた。灰の分析にあたり、同機構エネルギー・環境・地質研究所の富田恵一氏にご協力いただいた。この場を借りて厚くお礼申し上げる。

#### 引用文献

- 1) 北海道水産林務部林務局林業木材課木質バイオマス係: 林産試だより2020年11月号, 10 (2020).
- 2) 折橋健・安久津久・丹羽忍・大塚英幸: 木材学会誌67(1), 33-43 (2021).
- 3) 折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久: 日本木材学会北海道支部講演集49, 61-64 (2017).
- 4) 折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久・原田陽: 日本木材学会北海道支部講演集51, 29-31 (2019).

- 5) 北海道立総合研究機構農業研究本部：“土壌・作物栄養診断のための分析法2012”, 2012.  
<https://www.hro.or.jp/list/agricultural/center/bunseki2012/index.html>
- 6) 土壌標準分析・測定法委員会：“土壌標準分析・測定法 [POD版]”, 博友社, 東京, 2003.
- 7) 環境省：“一般廃棄物処理事業に対する指導に伴う留意事項について”, 1990.  
<https://www.env.go.jp/hourei/11/000013.html>
- 8) 環境省：“廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令の一部改正等について”, 1997.  
<https://www.env.go.jp/hourei/11/000460.html>
- 9) Sano, T., Miura, S., Furusawa, H., Kaneko, S., Yoshida, T., Nomura, T., Ohara, S. : J. Wood Sci. 59, 307–320 (2013).
- 10) Someshwar, A. V. : J. Environ. Qual. 25, 962–972 (1996).
- 11) 土屋陽子・下垣 久：“木質バイオマス燃焼灰の安全性評価（その3）－低温燃焼時における微量成分の溶出性評価－”, 2009.  
<https://criepi.denken.or.jp/jp/kenkikaku/report/detail/V08016.html>
- 12) 北海道：“焼却灰（天然木由来）の利用の手引き－”, 2017.  
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/chizai/syokyakubainoriyounotebiki.htm>

－企業支援部 研究調整グループ

－\*1：利用部 資源・システムグループ

－\*2：利用部 微生物グループ

（原稿受理：2021.10.14）

# 異なる接合金物を併用した接合部の性能評価に関する研究

戸田 正彦, 富高 亮介

## Study on the performance estimation of timber joint combined with different types of connectors

Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA

キーワード: 降伏耐力, 終局耐力, ボルト, 釘, Zマーク金物

Keywords: yield strength, ultimate strength, bolt, nail, Z-marked connector

本研究では, 異なる種類の接合金物を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として, 山形プレートおよび羽子板ボルトを取り付けた接合部の加力実験を行うとともに, 性能推定手法について検討を行った。その結果, 個々の接合金物での荷重-すべり曲線を加算することによって, 併用時の挙動を推定することが可能であった。また, 個々の接合金物の変形挙動が完全弾塑性モデル化されたバイリニア曲線で示されている場合に, それらを併用した場合の降伏耐力を推定した結果, 実験結果とおおむね一致することを明らかにした。

### 1. はじめに

平成22年に公共建築物等木材利用促進法が施行されてから10年が経過し, 木造化の動きが活発になっている。しかし林野庁の試算によると, 令和元年度の低層の公共建築物に限ってみても木造の占める割合は全国で28.5%, 北海道でも34.1%に留まっている<sup>1)</sup>。その理由としてコストや材料調達に関する情報の不足が挙げられる。特に中大規模な構造を実現するために特殊な金物を製作することは建設コストや工期に影響を及ぼすことから, 一般の住宅で使用されている金物や接合具を組み合わせた接合部設計が木造化推進には有効と考えられる。しかし異なる種類の金物や接合具を併用した場合の耐力評価式は確立されておらず, このため実験による性能確認が必要となるが, 試験に要する費用や時間が障害となり実用化に至らないケースもある。このような現状を踏まえ, 林産試験場では異なる接合具を併用した接合部に関する研究に取り組み, 併用時の剛性や耐力を個々の接合性能から推定する手法について検討している。しかし対象とした仕様は限定的であること, また初期クリアランスによって性能がばらつくことが

既往の研究でも示されていることから, 有効な評価手法を提案するためにはさらに実験データを拡充することが必要である。

本研究では, 中大規模な木質構造物の接合部を一般的な金物や接合具を用いて平易に設計できるようにするため, 異なる接合金物を併用した接合部の変形挙動を推定し適切に評価する手法について検討した。

### 2. 試験体および試験方法

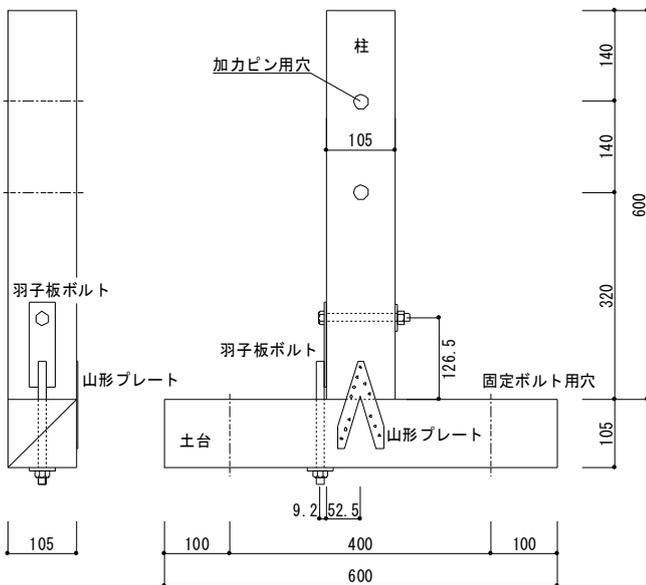
#### 2.1 試験体

試験体は105mm角の柱と土台(スギ製材, 平均比重0.35)に, Zマーク金物である山形プレート(記号VP2, 厚さ3.2mm, 釘ZN65, 12本, 短期許容耐力4.08kN)および羽子板ボルト(同SB-E2, ボルトM12, 1本, 座金厚さ4.5mm, 40mm角, 同5.0kN)を所定のボルトや釘で固定したものである。ボルトについては木材側に直径13mmの穴を明け, トルクレンチを用いて5N/mのトルクで締め付けた。試験体は金物をどちらか一方のみ取り付けたものと, 両方併せて取り付けたものの計3条件であり, 試験体数は各6である。主材は比重によるばらつき

が生じないように予めマッチングして割り当てた。なお柱と土台にはほぞ加工はせず、突き付けた状態で各金物を取り付けた。試験体の仕様（併用の場合）を第1図に示す。

## 2.2 試験方法

加力試験は、繰り返し荷重試験機（(株)岩崎製）を用いて行い、荷重と変位はそれぞれロードセル（容量200kN）およびひずみゲージ式変位計（最大ストローク50mm）を用いて計測した。加力速度は毎分10mmとし、一方向繰り返し方式によって最大荷重の80%に低下するか、すべり量が30mmを超えるまで実施した。繰り返し設定変位は0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 12, 16mm, 各1回とした。試験実施状況の例を第2図に示す。



第1図 併用仕様の試験体（単位：mm）



第2図 試験実施状況

## 3. 結果と考察

### 3.1 破壊性状と荷重—すべり量の関係

各仕様での代表的な破壊性状を第3図に示す。また荷重—すべりの関係曲線（包絡処理後）を第4図に示す。

山形プレート仕様では、釘の曲げによって変形が進行し、変位が10mm程度で最大荷重に達した。その後、土台材の横引張破壊、土台からの釘の引き抜け、金物の面外への曲げを生じていくことによって変形が進行し、荷重が低下していった。

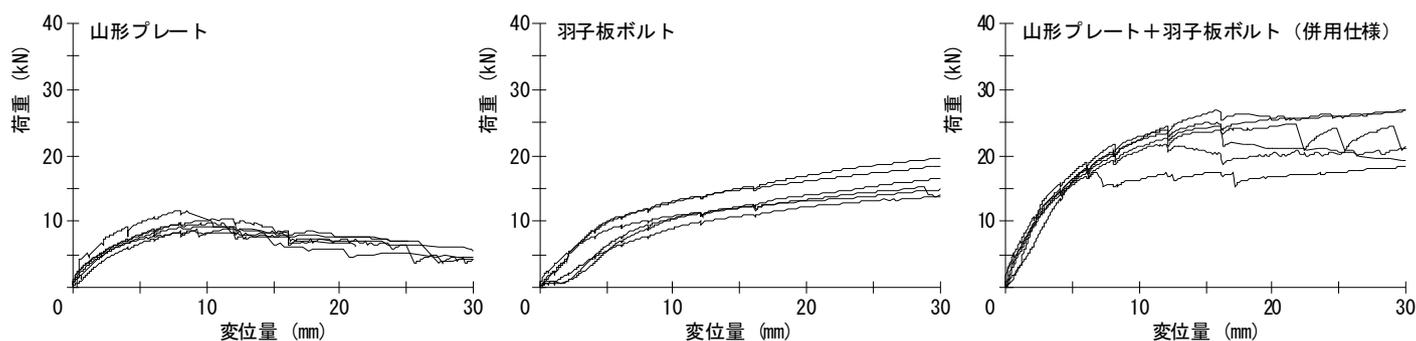
羽子板ボルト仕様では、金物と柱とのボルト接合部のせん断変形（ボルトの曲げ、めり込み）が発生した後、土台底面に座金がめり込むことによって変形が進行したが、荷重は緩やかに増加し続けたため、明確な荷重低下は認められなかった。

併用仕様では、単独仕様での破壊性状がそのまま発生し、相互に破壊の進展に影響を及ぼすことは認められなかった。

降伏耐力等について、変形が25mmまでのデータを用いて最大荷重の10, 40, 90%の点を用いる方法<sup>2)</sup>で求め、併せて95%下限値を算出した結果を第1表に示す。なお羽子板ボルトの荷重変形曲線を見ると、荷重が1kNに達しない段階で変形が2mm程度まで進行した試験体があった。これは、柱と土台とにほぞを設けずに突き付けた状態であるため、加力軸とボルト軸のずれに起因する偏心によって柱が平行にず



第3図 破壊性状



第4図 荷重-変形曲線（包絡処理後）

第1表 試験結果

仕様		最大耐力 (kN)	降伏耐力 (kN)	降伏変位 (mm)	終局耐力 (kN)	終局変位 (mm)	初期剛性 (kN/mm)	塑性率 (-)
山形プレート	平均	9.81	5.16	2.17	8.74	16.37	2.48	0.36
	変動係数	0.11	0.08	0.20	0.11	0.23	0.26	0.10
	下限値	7.24	4.19	-	6.52	-	-	-
羽子板ボルト	平均	15.42	8.78	6.12	13.16	25.00	1.52	0.47
	変動係数	0.13	0.11	0.24	0.12	0.00	0.30	0.14
	下限値	10.58	6.49	-	9.49	-	-	-
山形プレート +羽子板ボルト (併用仕様)	平均	23.49	13.23	3.38	21.47	25.00	4.00	0.35
	変動係数	0.15	0.16	0.27	0.14	0.00	0.10	0.13
	下限値	15.46	8.23	-	14.63	-	-	-

れてしまった影響と考えられる。ただし降伏耐力は最大荷重の10%以上のデータを用いて算出されるため、この初期すべりの影響は生じない。一方、初期剛性は原点と降伏点を結ぶ直線の傾きとして計算するため、この初期すべりによって低く評価されており、他の仕様と比べるとばらつきは大きくなっている。

一般に接合部の短期許容耐力は、降伏耐力または最大耐力の2/3のそれぞれの下限値のいずれか小さい方として決定される。本試験では3仕様とも降伏耐力によって決定されており、山形プレートおよび羽子板ボルトについてはいずれも公表値を上回っていることが確認された。

### 3.2 併用接合部の性能推定

一般に、異なる接合金物を併用する場合には許容耐力を単純に加算することができない。これは、許容耐力を発揮するときの変位が接合金物の種類ごとに異なるためである<sup>3)</sup>。

筆者らはこれまで釘やボルトなどの異なる種類の接合具を併用した鋼板添え板接合部の変形挙動及び

降伏耐力についての研究を行い、複数の接合具を同時に使用した接合部の変形挙動は、各接合具を単独で使用した接合部の荷重変形曲線を加算することで推定可能であることを明らかにした。さらに、併用時の降伏耐力を、各仕様での降伏耐力と終局耐力、初期剛性に基づいて完全弾塑性化したモデル曲線を用いて、後述するような方法によって推定可能であることを示した<sup>4)</sup>。

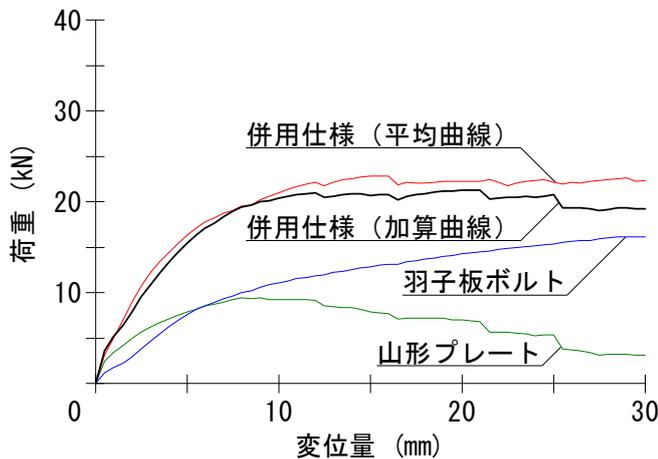
この推定方法は、接合金物にも適用可能であると考えられる。すなわち異なる種類の金物を併用した場合の変形挙動は、互いの変形や破壊に影響を及ぼさなければ、それぞれの金物を単独で使用した場合の変形曲線を加算することによって推定可能であり、降伏耐力等も同様に推定可能である。

そこで、本試験結果について、単独仕様での各6体の試験データを用いて変位0.1mmごとに荷重を平均することによって平均曲線を作成し、これらを加算することによって併用時の変形挙動を推定するとともに降伏耐力の算出を試みた。

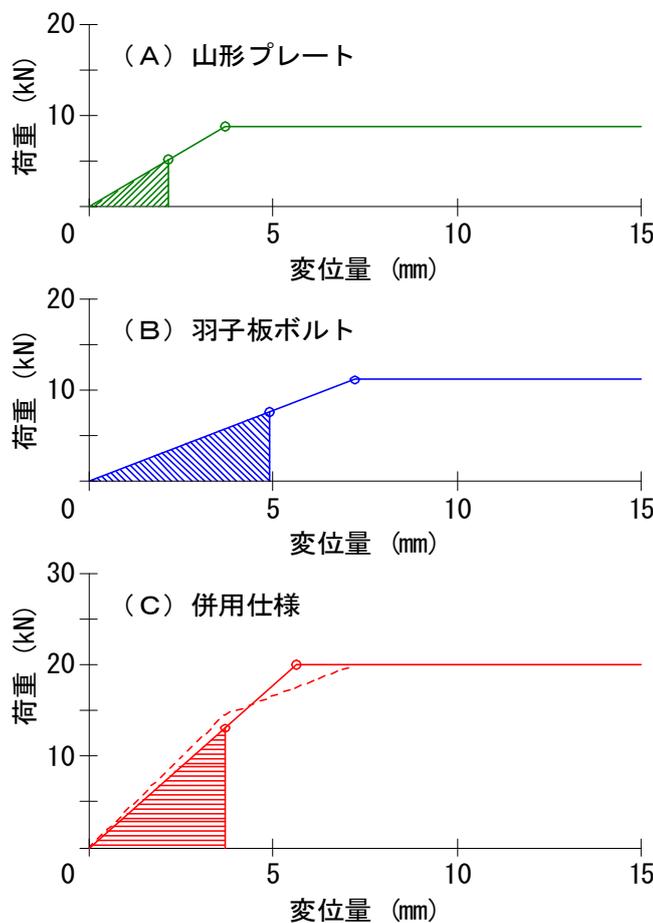
各仕様の平均曲線およびそれらを加算した曲線を

第5図に示す。上述のとおり、併用仕様の平均曲線は加算したものとおおむね一致している。

続いて降伏耐力の算定に関しては、まず第6図に示すように各仕様での降伏耐力や降伏変位、終局耐力を用いて完全弾塑性モデル化したバイリニア曲線を作成し、これをY軸に関して加算することによ



第5図 平均曲線と加算曲線の比較



第6図 実験平均値に基づくバイリニア曲線と降伏エネルギーを用いた降伏点の導出

て併用仕様での変形挙動をトリリニア曲線として示した (C) の破線)。またその終局耐力が、個々仮定することによって、変形曲線のバイリニア化を行った (同実線)。さらに、併用した場合の降伏に至るまでのエネルギーは、個々の接合具での降伏エネルギーを加算したものに一致すると仮定することによって、降伏エネルギーが等価になるような点を完全弾塑性モデルの降伏点として算出した。その結果、第2表に示すように、実験値と推定値はおおむね一致した。このように、これまで示してきた推定手法により、荷重変形の関係が精緻に得られていなくとも、降伏耐力と降伏変位、終局耐力が与えられれば、異種金物を併用した場合の降伏耐力推定が可能であると考えられる。

第2表 各種性能値の実験値と推定値の比較

仕様		降伏耐力	降伏変位	終局耐力	降伏点変位	初期剛性
		(kN)	(mm)	(kN)	(mm)	(kN/mm)
山形プレート	実験値	5.16	2.17	8.74	3.65	2.38
羽子板ボルト	実験値	8.78	6.12	13.16	9.16	1.44
山形プレート +羽子板ボルト (併用仕様)	実験値	13.23	3.38	21.47	5.47	3.91
	推定値	14.29	4.54	21.90	6.96	3.15

#### 4 おわりに

本研究では、異なる種類の接合金物を同時に用いた接合部を合理的に設計することを目的として、山形プレートと羽子板ボルトを併用した接合部での実験による性能検証および性能推定手法について検討を行った。その結果、これまで接合具を対象に提案してきた方法を金物にも適用することによって、併用時の挙動や降伏耐力を推定することが可能であった。ただし一般に流通している接合金物は設計用の許容耐力は明示されているものの、剛性についての指標値は示されていないことが多い。このような金物を併用する際に本推定手法を適用するためには、実験により各金物の剛性を把握するか、もしくは使用されている接合具の仕様をもとに剛性を理論的に計算して推定する必要がある。このように、これまで木質構造の設計や解析では接合部をピン接合として設定することが多かったが、より正確に性能を把握するためには剛性の考慮も必要となる。今後はヤング係数やせん断弾性係数など、木材の変形性能に係る基礎物性と接合性能との関係に関する知見を深める必要があると考える。

文 献

- 1) 林野庁：令和2年度森林・林業白書，p.184 (2021).
- 2) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－”，日本建築学会，p.371 (2006).
- 3) 日本建築学会：“木質構造設計規準・同解説－許容応力度・許容耐力設計法－”，日本建築学会，pp.212-219 (2006).
- 4) 戸田正彦，富高亮介：異種接合具を併用した接合部の耐力推定手法，林産試験場報，545，51-54 (2017).

－性能部 構造・環境グループ－  
(原稿受理：2021.11.5)

## 深浸潤処理を用いたCLTの保存処理方法に関する検討

宮内 輝久, 大橋 義徳\*1, 宮崎 淳子\*1, 高梨 隆也\*1, 渋井 宏美,  
伊佐治 信一, 茂山 知巳\*2, 須貝 与志明\*2, 山本 哲\*3,  
孕石 剛志\*3, 森 拓郎\*4, 松永 浩史\*5

### Investigation of CLT preservation treatment using deep penetration treatment

Teruhisa MIYAUCHI, Yoshinori OHASHI, Junko MIYAZAKI, Ryuya TAKANASHI,  
Hiromi SHIBUI, Shinichi ISAJI, Tomomi SHIGEYAMA, Yoshiaki SUGAI, Akira  
YAMAMOTO, Tsuyoshi HARAMIISHI, Takuro MORI, Hiroshi MATSUNAGA

キーワード：直交集成板 (CLT), 非加圧注入処理, 浸潤度, 有機溶剤系木材保存剤,  
インサイジング

直交集成板 (CLT) の住宅や非住宅建築への利用は世界的に増加しているが、その中には生物劣化のリスクが高い地域も含まれている。このような地域では腐朽や蟻害を防ぐため、建築物の水管理に加えて、CLTの保存処理が必要になると考えられる。最も効果的な保存処理方法である加圧注入法は、そのサイズの大きさからCLTに最適な保存処理方法と言えない。また、加圧注入処理されたラミナを使用したCLTの製造では、再乾燥のコストや、ラミナの変形や接着性能の低下などが問題となる可能性がある。国内では“深浸潤処理”と呼ばれる非加圧注入法が、土台に用いられる製材や集成材の保存処理方法としてシェアを伸ばしている。深浸潤処理では特別に設計された刃物を用いたインサイジングと有機溶剤系木材保存剤の表面処理 (製材・集成材の場合は噴射処理) により実施される。本研究では、深浸潤処理をCLTに適用することを試みた。厚さ150 mm, 幅500 mm, 長さ800 mmの5層5プライのCLTと、厚さ150 mm, 幅900 mm, 長さ3400 mmの5層5プライのCLTを用いて、実験室規模と実大規模の検討を実施した。いずれの場合も、インサイジングはラミナの段階で実施した。実験室規模の検討では浸漬による薬剤処理を行ったが、CLTの中央部の表面から深さ10 mmの範囲の浸潤度が98%であった。しかし、内層のラミナにはあまり薬剤が浸透していなかった。実大規模の検討では、浸漬処理と表面処理 (塗布処理) による薬剤処理を行った。CLT中央部の表面から深さ10mmまでの浸潤度は、浸漬処理で93%, 塗布処理で90%であった。CLTの積層面における薬剤の浸潤は少なかったが、このことはインサイジング処理が施されていないことによると考えられた。実用化にはさらなる検討が必要であるが、深浸潤処理はCLT保存処理方法の一つとなり得ることが期待される。

#### 1. はじめに

マスティンバー (Mass timber, 以下「MT」) のひとつである直交集成板 (Cross-Laminated Timber, 以下「CLT」) は、1990年代にオーストリアで開発され、ヨーロッパで広まった。現在では、北米、オーストラリア、アジアなど欧州以外の地域でも、住宅や非住宅の建築物にCLTを使用する事例が増えて

いる。日本では、2016年4月に日本で初めてCLT工場が稼働して以来、CLT工場の数は9工場に増加し、CLTを利用した建築物の数も年々増加している。

Wangら<sup>1)</sup> (Wang et al, 2018) は、CLTを含むMTを用いた建築物が生物劣化のリスクの高い地域に広がっているため、生物劣化が生じるような環境を作らないための特別な配慮が必要であると述べている。

無垢材や他の木質材料と同様に、含水率(MC)が高くなることでCLTも生物劣化を受けやすくなる。Cappellazziら<sup>2)</sup>は(Cappellazzi et al, 2020)は、木質構造において、もっとも実践しやすい生物劣化対策は、水分を排除するように設計することであると述べている。水分は木質材料の物理的性能にも悪影響を及ぼす<sup>2, 3)</sup>。したがって、建築時およびその後の水分侵入は、CLT等の信頼性を確保するうえで重要な課題であることから、水分の侵入の特徴、物理的性能への影響や生物劣化の発生に対する影響が調査されている<sup>3-7)</sup>。

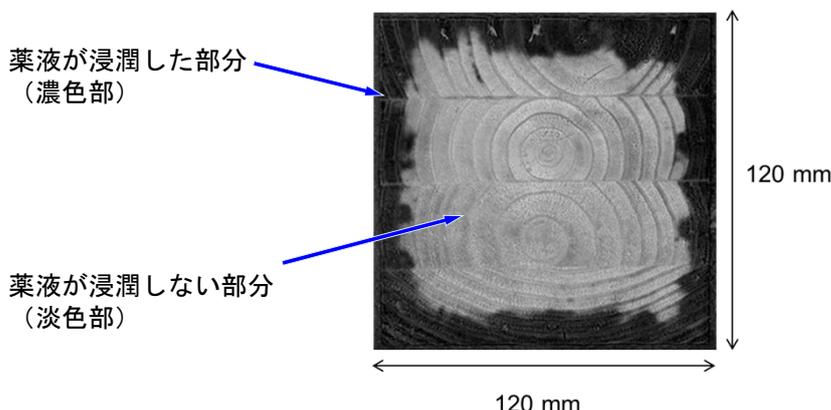
木質材料の生物劣化を防止することを目的とした処理方法のなかでも、木材保存剤の加圧注入処理は最も効果的な方法である。しかし、CLTのサイズは、加圧注入処理の主たる対象である製材や集成材と比べて巨大であり、一般的な加圧注入装置での処理には不向きであると考えられている<sup>8)</sup>。加圧注入処理されたラミナを用いてCLTを製造する方法、いわゆるラミナ処理であればCLTでも実施可能であると考えられる。しかし、処理後に必要なラミナの再乾燥による物理的損傷や、製造コストの増加が懸念されている<sup>2)</sup>。また、処理後のラミナの表面を平滑にするために行われるプレーナー仕上げにおいて、最も

処理の効果が高いと考えられるラミナの表層部が除去されること、薬剤含む切削屑の再利用や廃棄に課題が残る<sup>8)</sup>。StirlingとMorris<sup>8)</sup>は、ラミナ処理後のプレーナー仕上げを省略したCLTの製造を試みたが、接着性能が低下することを報告している。そのほか、CLTの製造に使用する接着剤の種類によるが、処理ラミナを用いたCLTでは、接着性能が低下することが報告されている<sup>9)</sup>。以上のことから、加圧注入処理以外のCLTの保存処理方法を開発する必要があると考えられる<sup>1,2)</sup>。

日本では、深浸潤処理された製材や集成材が木造住宅の土台におけるシェアを高めている。この処理方法は、(株)サイエンスにより開発されたもので、製材や集成材に対し加圧注入処理に匹敵する浸透を達成することができることから、「深浸潤処理」と呼ばれている<sup>10)</sup>。この処理は、特別に設計された刃物を用いたインサイジング処理とシプロコナゾールとビフェントリンを有効成分とする有機溶剤系木材防腐剤の吹付処理で構成されている(第1図)。第2図に示すように、深浸潤処理では浸透性の低いカラマツでも十分な浸透を達成できることが確認されており<sup>11)</sup>、(公財)日本住宅・木材技術センターによるAQ認証を受けている。



第1図 深浸潤処理の工程



第2図 深浸潤処理を行ったカラマツ集成材の中央断面における浸潤の様子  
(表面近傍の淡色部は薬剤が浸透した部分)

本検討では、深浸潤処理をCLTに適用することを試みた。汎用的なインサイジング装置では、実大サイズのCLTを処理することができない。そこで、ラミナの段階でインサイジングのみを行い、これを積層接着することでインサイジングが施されたCLTを製造した。また、薬剤の噴射処理の代わりに、浸漬または塗布処理を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 実験室規模の検討

#### 2.1.1 CLT試験体の作製

インサイジングを行ったラミナを用いたCLTパネルの製造とその浸漬処理を実験室規模で行うため、スギラミナを用いて5層5プライCLTを製造した。厚さ33 mm、幅106 mm、長さ3500 mmのスギラミナのうち、心材部分のみものを選びCLTの製造に用いた。平行層用として長さ1810 mmに切断したラミナを、直交層用として長さ1000 mmに切断したラミナを用いた。次に、これらのラミナの木口面を除く4面にインサイジングを行った。インサイジング後、ラミナを厚さ30 mm、幅100 mmに仕上げ、CLTの製造に用いた。これらのラミナを用いて、水性高分子イソシアネート系（API）またはフェノールレゾルシノールホルムアルデヒド系（PRF）接着剤で5層5プライのCLTを作製した。いずれの接着剤の場合も塗布量は $200\text{g}/\text{m}^2$ とした。また、圧縮圧はいずれも $0.7\text{MPa}$ とし、圧縮時間はAPIの場合は60分、PRFの場合は18時間とした。各CLTから約500（幅） $\times$ 800（長さ）mmのCLT試験体を4枚切り出した。そのうち3枚の試験体に浸漬処理を行った。

#### 2.1.2 浸漬処理

CLT試験体をプラスチック容器に入れ、試験体全体が沈むのに十分な量の薬剤を添加した。浸漬時間は10分間とした。浸漬処理後のCLT試験体を室温下で1か月以上静置した。

### 2.2 実大規模の検討

#### 2.2.1 CLT試験体の作製

実大規模の検討で用いたCLTの製造は、銘建工業（株）のCLT工場（岡山県）で実施した。CLTの製造は、厚さ30 mm、幅125 mm（仕上げ後寸法）フィンガージョイントされたスギラミナを用いて実施した。平行層と直交層のラミナの長さは、それぞれ8052と1952 mmとした。最外層に用いるラミナの板目面のうちCLTの外側に現れる面に、インサイジングを

施した。接着剤にはAPIを用い、5層5プライのCLTを2枚製造した。製造したそれぞれのCLTから幅900 mm、長さ3400 mmのCLT試験体を4枚切り出した。4枚のうち1枚（計2枚）を浸漬処理、他の1枚（計2枚）を塗布処理に用いた。

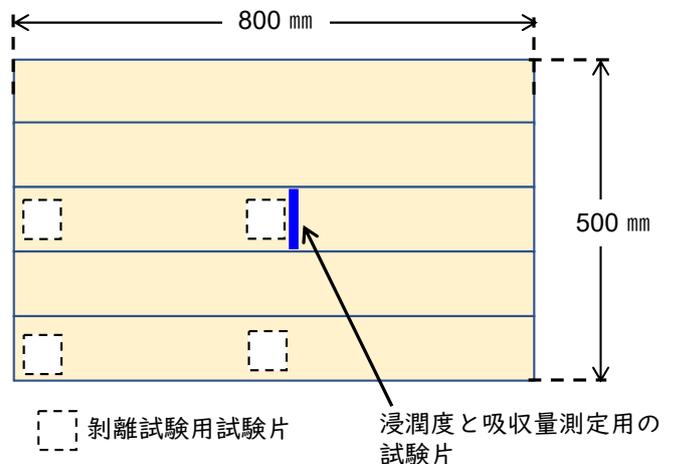
#### 2.2.2 浸漬処理と塗布処理

浸漬処理は試験体を水平に入れることができる大きさの容器を用いて行った。CLT試験体全体が沈むのに十分な量の薬剤にCLT試験体を10分間浸漬した。塗布処理は、プラスチック容器に入れた薬液をCLT試験体の表面に流し、その溶液をローラーで広げる方法で行った。積層面の塗布処理は、薬剤を十分にしみこませたローラーを用いて実施した。これらの処理は、（株）ザイエンスの広島製造所で実施した。処理後のCLT試験体は、室温で1ヶ月以上静置した。

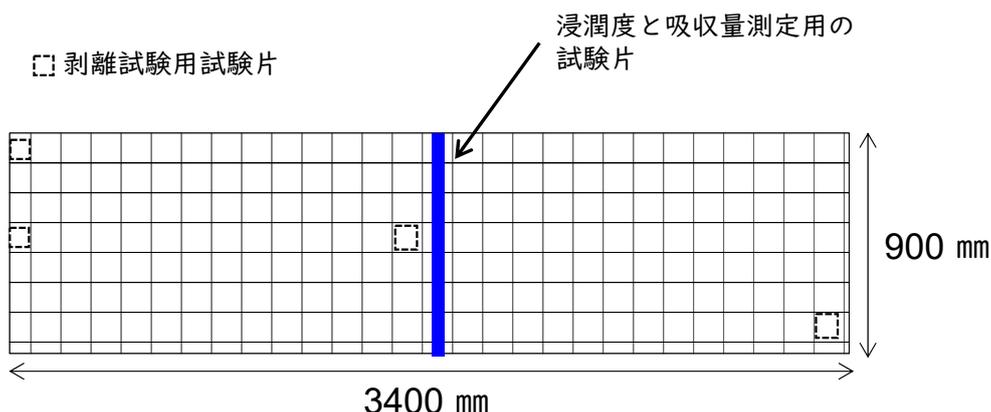
### 2.3 浸潤度・吸収量の測定と剥離試験

#### 2.3.1 浸潤度と吸収量の分析

薬剤の浸潤部分は、インジケータとして薬剤に添加されている亜鉛化合物に対するジチゾン（1,5-Diphenylthiocarbazone）の呈色反応によって可視化した。各CLT試験体の中心部分から切り出した試験片の断面にジチゾン溶液を噴霧し、呈色させた。浸潤度はCLTの表裏面から10mmの深さまでの面積を対象とし、その面積に対して薬剤が浸透した面積の割合（%）として算出した。実験室規模の試験では第3図に示す位置から、実大レベルの試験では第4図に示す位置から試験片を切り出した。実大規模の試験では、試験片に含まれる最外層の6つのラミナ断面ごとに、浸潤度を測定した（第5図）。



第3図 浸潤度・吸収量測定用試験片と剥離試験用試験片の採取位置



第4図 浸潤度・吸収量測定用試験片と剥離試験用試験片の採取位置



第5図 試験片上の浸潤度・吸収量の測定位置

有効成分の吸収量を測定するため、浸潤度の測定を行った部分を切断し、これを粉砕したものをメタノールによる超音波抽出に供した。抽出されたシプロコナゾールとビフェントリンを高速液体クロマトグラフ (HPLC) により定量分析し、吸収量を求めた。

### 2.3.2 剥離試験

CLTの日本農林規格 (JAS3079) に基づき、減圧・加圧処理による剥離試験を行った。第3, 4図に示す位置から、幅と長さが75mmの試験片を採取した。剥離率 ( $D_{all}$ ) は式 (1) により算出し、各接着層における全剥離長さの割合 ( $D_{indi}$ ) (2) により算出した。

$$D_{all} (\%) = \frac{\text{すべての接着層の剥離長さの合計}}{\text{すべての接着層の長さ}} \times 100 \quad (1)$$

$$D_{indi} (\%) = \frac{\text{各接着層における剥離長さの合計}}{\text{各接着層の長さ}} \times 100 \quad (2)$$

CLTのJASで認められている基準値は $D_{all} \leq 10\%$ 、 $D_{indi} \leq 40\%$ である。結果は“「基準を満たす試験片の数」 / 「試験片の全数」”として表した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 実験室規模の検討

インサイジングを行ったラミナを用いたCLTの製造とCLT試験体の浸漬処理の様子を第6図に示す。CLT試験体の中央部の浸潤度は平均98%であった (第1表)。また、この部分における有効成分の吸収量 (第1表) は、製材や集成材のAQ認証の吸収量よりも高かった。CLT試験体の内層部のラミナでは薬剤の浸透があまり認められなかったが、この処理方法によってCLTの表面から一定の深さの範囲で保護層を形成できると考えられた。また、剥離試験については、処理による影響は認められなかった。

### 3.2 実大規模の検討

実験室規模の検討の結果、内層ラミナへの薬剤の浸透がほとんど認められなかったことから、内層に



第6図 実験室規模の検討における各工程の様子

第1表 実験室規模での深浸潤処理CLTの結果

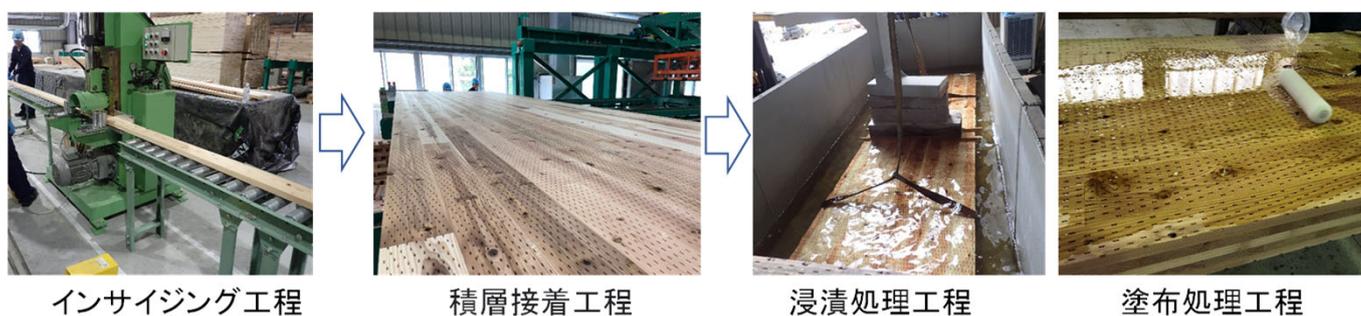
	薬剤付着量			浸潤度(%)	吸収量(kg/m <sup>3</sup> )		剥離試験結果
	w/w (%)	g/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>		CYP	BIF	
平均	3.4	758.0	14.3	98.0	0.29	0.08	12/12
標準偏差	0.1	32.9	0.6	0.3	0.04	0.01	-

用いるラミナではインサイジングの効果がないと考えられた。そこで、実大規模の検討では、最外層のラミナの表面側1面だけをインサイジングすることにした。この方法では接着面にはインサイジングが行われないことから、仕上げ切削後のラミナに対してインサイジングを行った。

第7図は、ラミナのインサイジング、これらを用いた積層接着および浸漬と塗布処理の様子を示したものである。CLT中央部における表面から深さ10mmまでの浸潤度は、浸漬処理で93%、塗布処理

で90%であった（第2表）。しかし、CLT試験体の側面において、薬剤が浸潤していない部分が確認された。これはラミナの側面にインサイジング処理が施されていないことによると考えられる。

CLTの側面からの浸潤を十分に確保する方法を開発する必要があるが、部分的にインサイジング処理を行ったラミナを用いてCLTを製造し、浸漬処理あるいは塗布処理による薬剤処理を行うことで、CLTの表面から一定の深さの範囲で薬剤による保護層を形成できると考えられた。



第7図 実大規模の検討における各工程の様子

第2表 実大規模での深浸潤処理CLTの検討結果

		薬剤付着量			浸潤度(%)	吸収量(kg/m <sup>3</sup> )		剥離試験結果
		w/w(%)	g/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>		CYP	BIF	
浸漬処理	平均	2.0	539.8	8.7	93.0	0.30	0.09	8/8
	標準偏差	0.0	0.0	0.0	6.6	0.1	0.03	-
塗布処理	平均	1.7	472.3	7.6	90.0	0.28	0.09	8/8
	標準偏差	0.3	95.4	1.5	0.8	0.1	0.03	-

剥離試験の結果では、深浸潤処理は接着性能に影響を及ぼしていないことが確認された。しかし、インサイジング処理がCLTの強度性能に影響を与えることが予想されるため、深浸潤処理を用いたCLTの保存処理技術を実用化するためには、インサイジング処理が強度性能に及ぼす影響を評価する必要がある。さらに、この処理方法で製造されたCLTの防腐・防蟻性能の評価を行う必要がある。

#### 4. まとめ

インサイジング処理を行ったラミナを用いてCLTを製造し、これに対し浸漬処理や塗布処理を行うことで、CLTに深浸潤処理が適用できる可能性が見いだされた。この方法によれば、インサイジング装置を導入することで、あらゆるサイズのCLTの深浸潤処理をCLT工場でも実施することが可能となり、効率的なCLTの保存処理方法となり得ることが期待できる。この方法の実用化に向けて、インサイジングがCLTの強度性能に及ぼす影響、この方法で製造されたCLTの防腐・防蟻性能の評価を実施する予定である。

#### 5. 謝辞

本研究の一部は農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）」の支援を受けて行った。また、本研究の一部は第52回国際木材保存会議(IRG52)で発表した。

#### 6. 引用文献

1) Wang J Y, Stirling R, Morris P I, Taylor A, Lloyd J, Kirker G, Lebow S T, Mankowski M, Barnes H M, Morrell J J: Durability of mass timber structures: A review of the biological Risks. Wood and Fiber Science 50, 110-127 (2018).

2) Cappellazzi J, Konkler M J, Sinha A, Morrell J J: Potential for decay in mass timber elements: a review of the risks and identifying possible solutions. Wood Material Science & Engineering, 15:6, 351-360 (2020).

3) Shirmohammadia M, Leggatea W, Redman A: Effects of moisture ingress and egress on the performance and service life of mass timber products in buildings: a review. Construction and Building Materials, 290, 123176 (2021).

4) Mankowski M E, Shelton T G, Kirker G, Morrell J J: Ongoing field evaluation of Douglas-fir cross-laminated timber in a ground proximity protected test in Mississippi. Proceedings of American Wood Protection Association 114, 132-137 (2018).

5) Morrell J J: Durability testing of mass timber building elements: a call for a collaborative trial. International Research Group on Wood Preservation Document No IRG/WP/19-40875, Quebec, Canada (2019).

6) Schmidt E, Riggio M: Monitoring moisture performance of cross-laminated timber building elements during construction. Buildings, 9, 144 (2019).

7) Sinha A, Udele K E, Cappellazzi J, Morrell J J: A method to characterize biological degradation of mass timber connections. Wood and Fiber Science, 52, 419-430 (2020).

8) Stirling R, Morris, P I: Development of protective treatments for cross-laminated timber. Proceedings of American Wood Protection Association 113, 210-213 (2017).

9) Lim H, Tripathi S, Tang J D: Bonding performance of adhesive systems for cross-laminated timber treated with micronized copper azole type C (MCA-C), Construction and Building Materials, 232, 117208 (2020).

10) 茂山知己: 深浸潤処理法, 木材保存, 44, 140-141 (2018).

11) Shibui H, Miyauchi T, Shigeyama T, Ikeda M, Sugai Y: Penetration pathway of oilborne preservative in heartwood of Japanese larch (Larix kaempferi). International Research Group on Wood Preservation Document No IRG/WP/19-40886, Quebec, Canada (2019).

—性能部 保存グループ—  
 —\*1 技術部 生産技術グループ—  
 —\*2 株式会社 ザイエンス—  
 —\*3 銘建工業 株式会社—  
 —\*4 広島大学大学院 先進理工系科学研究科  
 建築学プログラム—  
 —\*5 国立研究開発法人 森林研究・整備機構  
 森林総合研究所—  
 (原稿受理: 2021.12.6)

## 有機酸を含浸した蒸煮処理木材の熱流動性

長谷川 祐, 大市 貴志\*<sup>1</sup>

### Thermal fluid behavior of steam treatment wood with aqueous organic acid

Yuu HASEGAWA, Takashi OHICHI

*Keywords: Steam treatment, Organic acid, Solvolysis, Esterification, Thermal fluid behavior*

キーワード: 蒸煮処理, 有機酸, 加溶媒分解, エステル化, 熱流動性

木材の繊維構造を保持したままで熱流動性を高める処理として, 木材チップに有機酸を含浸してから蒸煮処理を行った。蒸煮によって, トドマツ, シラカンバの両樹種とも熱水抽出物量が増加する一方でヘミセルロースが減少した。薬剤処理チップのケン化価とIRスペクトルを測定した結果, 使用した有機酸の一部は木材成分にエステル結合している可能性が示された。薬剤処理チップの熱流動性は, 両樹種とも無処理<蒸留水<90%酢酸<85%酢酸-5%無水マレイン酸の各水溶液で処理した順に高くなった。フローテスターからの吐出物の形態観察を行った結果, 吐出物には木材由来の繊維構造が観察された。

#### 1. はじめに

深刻化する温暖化への対策が地球規模で急務となっている。日本においても2050年までに温室効果ガスの排出ゼロを目指す「ゼロカーボン社会」の実現に向け, 数々の施策が掲げられている。その一環として, バイオマスを原料に作られたプラスチック類の普及促進がある。プラスチックについては, 温室効果ガスの問題と共にマイクロプラスチックや使い捨てプラスチックによる海洋汚染, 環境負荷に対する懸念も高まっており, バイオマスが原料であることはもちろんのこと, 自然界での生分解性に優れるなど低環境負荷であることも求められている。

木質バイオマスを原料として化石資源由来プラスチックの代替を図る方法はこれまでに数多くの提案がなされている。例えば, いわゆるバイオリファイナリーの考えに基づく手法として, 木質バイオマスを原料に発酵や熱分解によって各プラスチックの大元の原料となる一酸化炭素, エタノール, フェノール等を製造し, これを基に各プラスチック等の化成品を製造する方法<sup>1-4)</sup>あるいは, 化学修飾により木質バイオマスの構成成分中の水酸基に疎水性官能基を導入して熱可塑性を付与する方法等が知られる<sup>5)</sup>。

このうち, 木材パルプの化学修飾で得られる酢酸セルロースは, 主成分がセルロースと酢酸で構成されていることから, 安全で生分解性のあるプラスチックとして製品化されており, 多方面で利用されている。

このように, それぞれ異なった視点や手法によるアプローチが多数あるものの, バイオマスを原料に既存の化石資源由来プラスチックの代替を目指すという目標は同じであり, 多彩なアプローチが検討されることで, より早く目標に近づけると考えられる。

上述の例のように木質バイオマスを熱可塑性物質に変換してからプラスチックにするという手法とは別に, 無垢の木材をそのまま, あるいは最小限の改質処理のみでプラスチックに近い成形性を目指す試みが報告されている。例えば, 木繊維をバインダーと共に3次元成形したものや, パルプを水に懸濁させて3次元成形したパルプモールド製品は, 木質材料の性質を保持しながら成形性の自由度を高めた材料と言える。さらに近年は, 無垢の木材に少量のフェノール樹脂やアクリル樹脂を添加した上で, 金型内で直接3次元成形する試み<sup>6)</sup>や, 蒸煮処理したプレーナ屑だけで3次元成形物を得る試みも報告さ

れている<sup>7)</sup>。前者は水分共存下でのリグニンの熱軟化による解繊の利用<sup>6)</sup>、後者はヘミセルロースやリグニンの低分子化による熱流動と考えられている<sup>7)</sup>。いずれもセルロースの完全な熱可塑性を伴わずとも材料総体としては熱流動現象を生じており、木材の組織構造、あるいは成分組成を保ちながら、木質繊維板やパルプモールドよりもプラスチックに近い成形性を付与する点が特徴と言える。

本研究ではこれらの先行研究事例を参考に、木材の繊維構造を保持したままで熱流動性を高める処理として、木材チップに有機酸を添加してから蒸煮処理を行い、その効果を成分分析やフローテスターを用いた観察により評価した。

## 2. 実験方法

### 2.1 木材試料

トドマツとシラカンバの木材チップを供試した。切削タイプのチップパー（(株)檜山鐵工所製、UFC30×4N）を用いて20～30角×厚さ3～4mmに調製し、105℃で24時間乾燥してから用いた。心材と辺材の区別は行わなかった。

### 2.2 薬剤処理チップの調製

#### 2.2.1 木材チップへの有機酸含浸

含浸薬剤として①蒸留水、②90%酢酸水溶液（以下、90%AcOH）、③85%酢酸-5%無水マレイン酸水溶液（以下、85%AcOH-5%MA）の3種類を設定した。ステンレス製バットに木材チップを入れ、各含浸薬剤を木材チップが十分浸るまで注ぎ入れた。このバットを耐圧容器に入れ、ダイヤフラム式真空ポンプによる減圧（-0.08MPa）、その後常圧に戻してエアークンプレッサーによる加圧（1.5MPa）を各30分行い、木材チップに薬剤を注入した。薬剤含浸チップはステンレス網かご上に広げて余剰薬剤を液切りし、冷蔵保管した。

#### 2.2.2 蒸煮処理

薬剤含浸チップを容量500mlのリアクター（オーエムラボテック社製、MMJ-500-HC）に充填し、180℃で30分（昇温1時間、保持30分）加熱した。途中、110℃で10秒脱気操作を行い、加熱後は流水にて急冷した。処理チップは30℃で24時間、次いで60℃で24時間送風乾燥させた。

### 2.3 薬剤処理チップの成分分析

薬剤処理チップをウイレーミルにて粉碎して木粉とした。これを分級し、粒度150～250 $\mu$ mの画分を

使用した。Wise法によりホロセルロースを測定し、17.5%NaOH不溶分を $\alpha$ -セルロースとした。ホロセルロースから $\alpha$ -セルロースを差し引いた分をヘミセルロースとした。リグニンはKlason法、熱水抽出率は熱水中での3時間煮沸により測定した。

### 2.4 薬剤処理チップのケン化価の測定

2.3で調製した木粉を105℃で24時間乾燥した後、100mg精秤し、0.4mol/L水酸化カリウムエタノール溶液25mLを加えた。これを90℃に設定したウォーターバスで30分湯煎し、ケン化した。その後、冷水で室温まで冷ました後、0.42mol/Lの塩酸水溶液25mLを加えた。これを自動滴定装置（AUT-301、東亜DKK(株)製）を用いて0.2 mol/L水酸化カリウム水溶液で中和滴定し、中和に要した水酸化カリウムの量から、次式により各木粉のケン化価を算出した。

$$\text{ケン化価} = (0.2 \times 56.11 \times V \times F) \times (1000 / S)$$

ここで、

56.11 : 水酸化カリウムの式量

F : 0.2mol/L水酸化カリウム水溶液のファクター

V : 試料木粉と無処理木粉それぞれの中和に要した0.2mol/L水酸化カリウム水溶液の差 (mL)

S : 試料木粉の質量 (mg)

### 2.5 薬剤処理チップの赤外線（IR）スペクトルの測定

2.3で調製した試料木粉を拡散反射赤外フーリエ変換分光法（DRIFT）測定用ユニットのサンプルホルダー（日本分光(株)製、DR-81）に詰め、FT/IR-4700フーリエ変換赤外分光光度計（日本分光(株)製、FT/IR-4700）にて測定した。測定スペクトルのカルボニル基に由来する1740 $\text{cm}^{-1}$ のピークとメチレン基に由来する2900 $\text{cm}^{-1}$ の吸光度比（1740 $\text{cm}^{-1}$ /2900 $\text{cm}^{-1}$ ）を算出した。

### 2.6 薬剤処理チップの熱流動性評価

#### 2.6.1 フローテスターによる測定

熱流動性の評価には、細管式フローテスター（(株)島津製作所製、CFT-500D）を用いた。各チップに含水率30%となるよう蒸留水を添加し、16時間室温に放置した。このチップをマッチ棒状に割り、断面1 $\text{cm}^2$ のシリンダ内に入れ、80℃で5分間予熱した。その後、昇温速度2℃/min、荷重39.2MPaの条件下で熱圧し、熱圧時のピストンのストローク挙動を記録した。ダイは穴径1mm、厚さ1mmを用いた。比較として、無処理チップも同条件での調湿と

流動試験を行った。

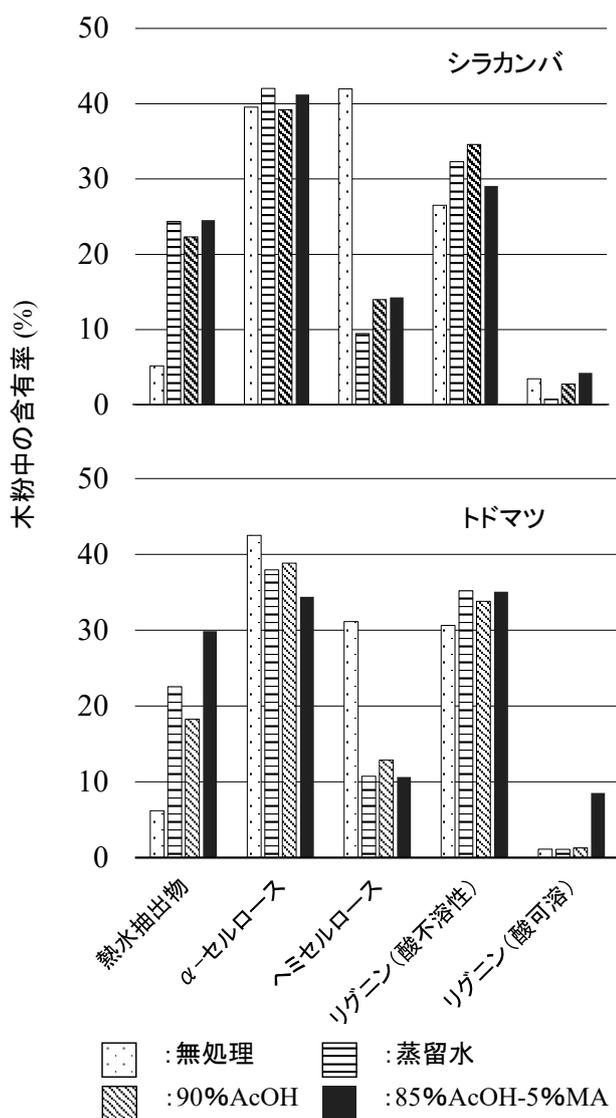
### 2.6.2 フローテスターからの吐出物の観察

フローテスターからの吐出物について、マイクロスコopおよびSEMによる観察を行った。

## 3. 結果および考察

### 3.1 薬剤処理チップの成分組成

各薬剤処理チップの成分分析の結果を第1図に示す。シラカンバとトドマツの無処理材では前者のヘミセルロースの割合が大きいですが、シラカンバにはヘミセルロースを構成するキシランが多く含まれているためと考えられる。各処理については、両樹種とも熱水抽出物が増加し、これに対応するようにヘミセルロースの減少が見られ、減少幅はシラカンバの方が大きくなった。非晶性の多糖であるヘミセルロースは加熱や酸性条件下では加水分解が進行しや



第1図 各薬剤処理チップの成分組成

すいことが知られている<sup>8-10</sup>。またヘミセルロースに含まれるアセチル基が加水分解して酢酸となり、これが触媒となってさらに加水分解が進行することが報告されている<sup>9,10</sup>。今回も加水分解によって単糖やオリゴ糖、あるいはフルフラールといった熱水抽出成分や揮発成分へ変化したと考えられる。シラカンバの場合、蒸留水だけの場合と有機酸を添加した場合で成分組成に差は見られなかった。一方、トドマツでは蒸留水と90%AcOHでは差は見られなかったが、85%AcOH-5%MAでは熱水抽出物と酸可溶性リグニンの増加が見られた。90%AcOHは酢酸蒸解において脱リグニン剤として作用するが<sup>11,12</sup>、今回の分析では特徴的な変化は見られなかった。これらの結果から、今回の薬剤処理条件では、溶脱するなどの大きな影響を受けるのはヘミセルロースのみで、セルロースとリグニンについては少なくとも溶脱するほどの影響は受けていないと考えられる。

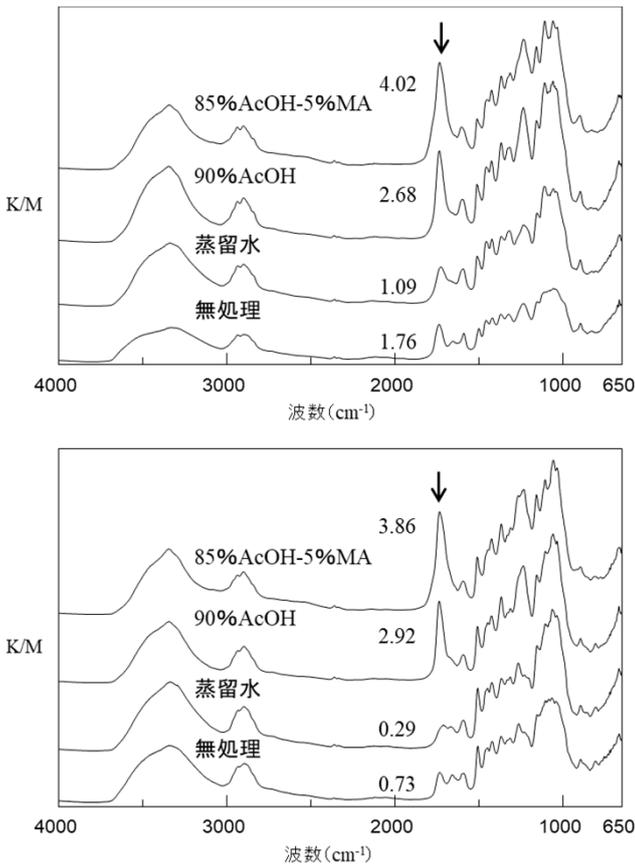
### 3.2 薬剤処理チップのケン化価とIRスペクトル

トドマツとシラカンバの各薬剤処理チップのケン化価を第1表、IRスペクトルを第2図に示す。

IRのカルボニル基由来のピークの吸光度は、どちらの樹種も蒸留水による処理では無処理材よりも低下し、有機酸による処理では上昇が見られた。蒸留水での処理時の低下は、蒸煮時に元々木材のヘミセルロースに含まれるアセチル基が加水分解し、酢酸として脱離したためと考えられる<sup>9,10</sup>。今回、薬剤処理したチップは処理後60°Cで乾燥し、さらに木粉にしてから測定前に105°Cの乾燥を実施している。このことから、未反応の遊離の有機酸が残存している可能性は小さい。また、硫酸触媒下、80~90%の酢酸水溶液を用いたソルボリシスパルプ時にはセルロースやリグニンにアセチル基が導入されることが報告されている<sup>11,12</sup>。今回の結果も同様に、高温下、高濃度の有機酸で処理することで、木材成分に有機酸がエステル結合した可能性が高いことを示している。

第1表 各薬剤処理チップのケン化価

樹種	有機酸	ケン化価
シラカンバ	蒸留水のみ	38.7
	90%AcOH	63.5
	85%AcOH-5%MA	56.6
トドマツ	蒸留水のみ	27.7
	90%AcOH	121.4
	85%AcOH-5%MA	137.9



第2図 薬剤処理チップのIRスペクトルと1740/2900cm<sup>-1</sup>の吸光度比

樹種ごとのケン化価を見た場合、シラカンバよりもトドマツの値が高く、エステル基の導入がより進んだことが推察される。ただ、IRの吸光度では両樹種に大きな差は見られず、この点についてはさらに精査する必要がある。

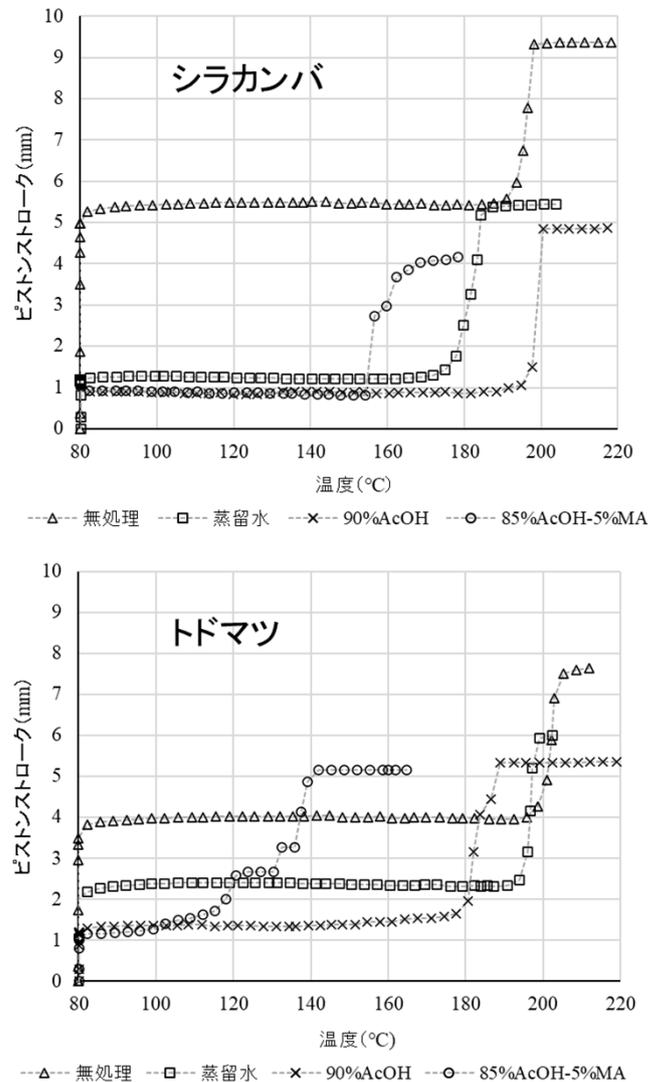
### 3.3 薬剤処理チップの熱流動性

トドマツとシラカンバの各薬剤処理チップをフローテスターで熱流動性を評価した際の温度-ストローク流動曲線を第3図に示す。

無処理チップの場合、シラカンバは190℃付近、トドマツは200℃付近からダイからの吐出を伴うピストンの一律な移動が生じた。

木材は200℃以上で熱分解が顕著になることが知られている<sup>13)</sup>。またリグニンやヘミセルロースは水分存在下ではそれぞれ70℃と20℃で熱軟化性を示すとされている<sup>14)</sup>。つまり無処理チップの場合、マトリクス成分の熱軟化に加えて熱分解による低分子化により熱流動性が向上し、これがピストンで圧縮されることでダイから吐出したと推察される。

蒸留水で蒸煮処理したチップの場合、流動開始温度は無処理チップよりもトドマツで約5℃、シラカ



第3図 各薬剤処理チップのフローテスターによる熱流動性評価

ンバで約15℃低下した。これは事前の蒸煮処理によって木材成分の加水分解が生じていた分、それが無処理チップとの差となって現れたものと考えられる。

90% AcOH処理チップの場合、トドマツでは150℃付近から緩やかにピストンが移動を始め、180℃付近から190℃にかけて吐出を伴いながら大きく移動した。この間、前2条件とは異なり、一律の移動ではなく所々詰まりながら移動した。一方、シラカンバでは蒸留水だけでの蒸煮の場合とほとんど変化が見られなかった。

酢酸は、ソルボリシスパルプ化時にヘミセルロースの加水分解を促すと共に脱リグニン剤としても働く<sup>11-15)</sup>。また前項では、木材成分へのエステル結合(アセチル基の導入)の可能性も観察された。すな

わち今回の場合、ヘミセルロースやリグニンの加溶媒分解による低分子化によって細胞間の結合が緩むと共に、酢酸リグニン等の分解生成物が可塑剤として作用した結果、熱分解温度に到達する前に流動を開始したと推察される。所々で詰まるのは、可塑化が不十分な木材組織がダイを通過する際に抵抗として作用した可能性がある。このような蒸解時の脱リグニンは構成するリグニンの化学構造の違いから、広葉樹に比べて針葉樹の方が強い反応条件を必要とする。今回、シラカンバで処理効果が見られず、トドマツで効果が顕著となった理由は不明であるが、前項のケン化価でもトドマツの方が導入エステル量が多いことが示唆されていること、広葉樹でも密度が高い樹種では脱リグニンが困難となる場合があることが指摘されており<sup>16)</sup>、これらの影響を受けた可能性がある。

85%AcOH-5%MAで処理したチップの場合、両樹種とも流動開始温度の大幅な低下が見られた。特にトドマツでは100°C付近からすでにピストンの緩やかな移動が観察され、117°C付近から140°Cにかけて吐出を伴いながら大きく移動する様子が確認された。吐出物は細長いひも状に連続して吐出された。また90%AcOHと同様、ピストンは所々詰まりながら移動したが、その挙動はより大きくなった。

高橋らは、マレイン酸水溶液を添加して得たスギ辺材の蒸煮木粉の熱流動性が著しく向上することを報告しており、マレイン酸によるヘミセルロースの分解促進やマレイン酸の木材成分へのエステル結合の可能性について言及している<sup>7)</sup>。今回のトドマツの場合も同様の効果があったと考えられる。所々詰まる挙動が大きくなったのは、木チップ内の熱流動成分の流動開始温度が低下した分、前述した木材繊維組織のダイ通過時の抵抗が大きく現れたためではないかと推察される。シラカンバの場合、155°C付近から吐出を伴いながら急激にピストンが移動した。85%AcOH-5%MAの場合も前述の90%AcOHと同様に、トドマツよりもシラカンバの方が流動を開始する温度は高くなった。同様の傾向は高橋らの実験でも観察されており<sup>7)</sup>、有機酸による化学的な変化だけでなく針葉樹と広葉樹材での木材組織構造の違いも関係している可能性がある。なお、シラカンバの場合もピストン移動時に詰まる現象が見られたがトドマツより小さな挙動となった。これはシラカンバの繊維長がトドマツよりも短く、ダイ通過時の抵抗

が小さかったためではないかと考えられる。

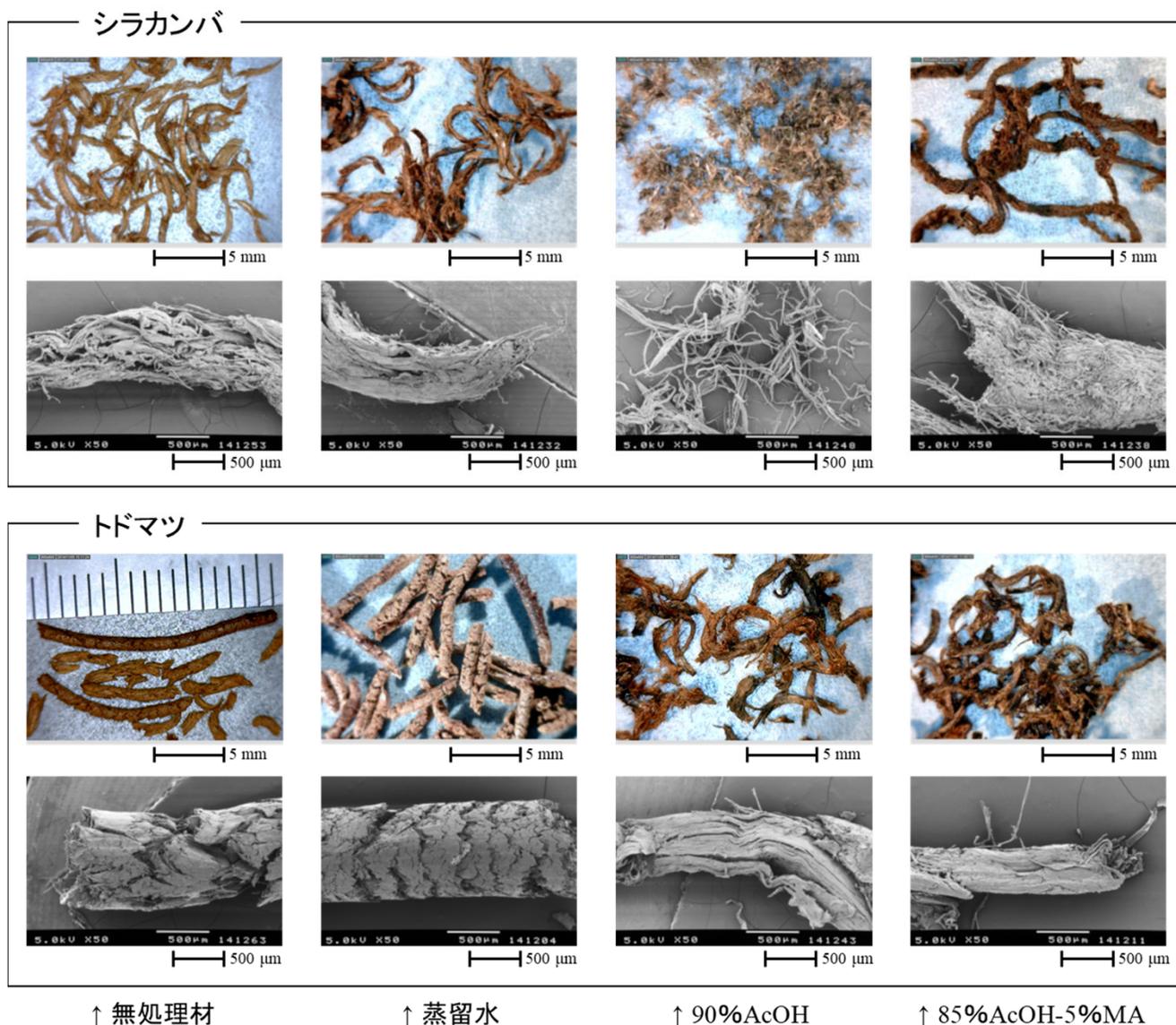
### 3.4 吐出物の形態観察

フローテスターによる熱流動性試験時の吐出物についてマイクロ스코プ及びSEMによる観察を行った結果を第4図に示す。トドマツの場合、いずれの吐出物もダイから直線状に連なって吐出された。無処理材と蒸留水のみでの処理の場合、吐出物に木材組織由来の繊維構造はほとんど観察されなかった。これは試験時の熱圧によって熱分解が進んだためと考えられる。90%AcOHや85%AcOH-5%MA処理の吐出物には木材繊維が長さ方向に配列する形跡が確認された。これは、熱分解以下の温度で流動したことで、ダイからの吐出時に繊維構造が一定方向に保持されたためと考えられる。一方、シラカンバの場合、全ての条件の吐出物に繊維構造が確認できたが、85%AcOH-5%MA以外は断続的に吹き出したような形態を示した。この理由として、シラカンバは85%AcOH-5%MA以外の処理では熱流動性がトドマツほど大きくなっておらず、加えて平均繊維長が短いため、ダイから押し出される際に加熱で生じた水蒸気や揮発性の熱分解生成物によって噴き出すように吐出したためと考えられる。

## 4. まとめ

木質バイオマスを原料に、木材の繊維構造を保持したままで熱流動性を高めることを目的に、木材チップに種々の有機酸を含浸してから蒸煮処理を行い、その効果を評価した。得られた結果を下記に示す。

- (1) 蒸煮によって、トドマツ、シラカンバの両樹種とも熱水抽出物量が増加する一方でヘミセルロースが減少した。加水分解によりヘミセルロースが低分子化し熱水可溶性へと変化したと考えられた。一方、セルロースとリグニンについては溶脱による減少は観察されなかった。
- (2) 薬剤処理チップのケン化価とIRスペクトルを測定した結果、使用した有機酸の一部は木材成分にエステル結合している可能性が示された。
- (3) 薬剤処理チップの熱流動性は、両樹種とも無処理<蒸留水<90%AcOH<85%AcOH-5%MAの順で高くなった。有機酸による熱流動性向上の効果はシラカンバよりもトドマツで顕著となり、トドマツでは117°C付近で流動の開始が確認された。
- (4) フローテスターからの吐出物の形態観察を行っ



第4図 フローテスターからの吐出物

た結果、トドマツの90%AcOHや5%AcOH-5%MA処理チップについては木材由来の繊維構造が確認され、木材の組織構造が残された状態で流動したことがわかった。シラカンバの場合、いずれの吐出物にも繊維構造が確認されたが、断続的に噴き出したような形状を呈した。これはシラカンバがトドマツに比べて流動性が低かったことと繊維長がトドマツに比べて短いことによるものと推察された。

### 5. 文献

- 1) 椿範立: 日本エネルギー学会機関誌 “えねるみくす”, 97, 203-208 (2018).
- 2) Kaylen, M. ; LVan, D.; Choi, Y.; Blase,:Bioresour Technol., 72, 19 (2000).
- 3) Funaoka, M.; Abe, I.:Tappi Journal, 72, 145 (1989).

- 4) 佐々木堯, 佐藤陽子, 小林登史夫, 貝沼圭二: 日本食品工業学会誌, Vol.27(6),270-274 (1980).
- 5) 白石信夫: ” ウッドケミカルの技術”, 飯塚堯介監修, シーエムシー出版, 227-256 (2007).
- 6) 山下修, 横地秀行, 三木恒久, 金山公三: 日本機械学会論文集A編, Vol.73, No.729, 583-588 (2007).
- 7) 高橋勤子, 山口知宏, 太田幸伸, 浅田文仁, 堀田好幸: 愛知県産業技術研究所研究報告, No.6, 68-69 (2007).
- 8) 栗林朋子, 小川悠, 松本雄二, 西山義春: 木材学会誌, Vol.65, No.4 212-217 (2019).
- 9) Rughani, J. ; Wasson, L. ; McGinnis, G. : J. Wood Chem. Technol., Vol.10(4) 515-530 (1990).
- 10) Tanahashi, M.; Takada, S.; Aoki, T.; Goto, T.; Higuti, T.; Hanai, S.: Wood research, Vol.69, 36-51 (1983).

- 11) 金子尚史, 佐野嘉拓, 笹谷宜志, 大谷諄 : 紙パ技協誌, Vol.45, No.12, 96-103 (1991).
- 12) 中村雅幸, 佐野嘉拓 : 日本木材学会北海道支部講演要旨集, Vol.21, 65-69 (1989).
- 13) 平井信之 : ”木材の物理” , 文永堂出版, 206-207 (1985).
- 14) 高村憲男 : 木材学会誌, Vol.14, 75-79 (1968).
- 15) Young,R.A;Davis,J.L.:Holzforschung,Vol.40, 99-108 (1986).
- 16) 佐野嘉拓, 笹谷宜志 : 木材学会誌, Vol.31, No.10 836-842 (1985).

ー利用部 バイオマスグループ

ー \* 1 : 工業試験場 材料技術部 応用材料グループ

(原稿受理 : 2021.12.9)

# 野生型エノキタケ新品種の開発 (第1報) ランダム交配菌株の作出と選抜

宜寿次 盛生, 米山 彰造, 齋藤 沙弥佳, 東 智則, 檜山 亮\*<sup>1</sup>, 津田 真由美\*<sup>2</sup>

## Breeding of new wild-type *Flammulina velutipes* varieties (I) Creation and selection of random hybrid strains

Seiki GISUSI, Shozo YONEYAMA, Sayaka SAITO, Tomonori AZUMA,  
Ryo HIYAMA, Mayumi TSUDA

キーワード: エノキタケ, 育種, 孢子混合液, 食味, 選抜

### 1. はじめに

エノキタケは、国内生産量が最も多い食用きのこで年間約13万トン生産されている<sup>1)</sup>。現在、人工栽培で生産されるエノキタケは「純白系」と呼ばれる品種がほとんどであるが<sup>2)</sup>、野生のエノキタケは傘が褐色で、柄の上部は淡黄褐色、下部は黒褐色を呈している<sup>3)</sup>。北海道立総合研究機構林産試験場 (以下、道総研林産試) では天然の形態・風味を有する野生型エノキタケ「えぞ雪の下」を開発して<sup>4)</sup>、実生産に活用されている。「えぞ雪の下」は、北海道の統計上、エノキタケとは別品目扱いで、市場での根強い需要から25年以上一定量の生産が行われ流通している<sup>1)</sup>。また、他のきのこ生産者から野生型エノキタケを導入したいという要望や、「えぞ雪の下」の機能性<sup>5,6)</sup>を高めた品種開発の要望がある。

きのこの品種開発 (育種) では、孢子由来の単核菌糸同士を交配する方法や親菌株の細胞をプロトプラスト化することで構成核を分離して得た単核菌糸を用いて交配する方法などがある<sup>7,8)</sup>。いずれも多数の単核菌糸系統を組み合わせ、シャーレ上で交配、分離して新たな菌株を取得する。

一方、伊東ら<sup>9)</sup>は食用きのこであるムキタケを用いてランダムに交配して品種改良を行った。すなわち、形質の異なる2菌株の孢子混合液を接種し菌床栽培を行い、様々な形質の子実体を得た。それ

ら子実体から組織分離した菌株の中からビン栽培に向けた菌株を選抜している。この孢子混合液を用いた菌株選抜は粗放的な手法であるが、実施する栽培条件 (培地組成, 栽培工程) に適した子実体が発生する。そのため、ランダムに作出される多様な菌株の中から目的の栽培条件に適する菌株が選抜されることが期待できる。

本稿では、野生型エノキタケ新品種の開発を目的として、孢子混合液を用いたランダム交配菌株の作出と選抜を行った結果について報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 保存菌株の栽培特性

##### 2.1.1 菌株

第1表に示す道総研林産試保存のエノキタケ48菌株および対照菌株として、Fv92-04 (えぞ雪の下) を用いた。

各菌株をPDA平板培地で培養し、その菌糸片を種菌用培地 (850mL容ポリプロピレン製栽培ビン1本あたり絶乾重量でシラカンバおが粉140g, フスマ35 g, 設定培地水分63.5 %) に接種、ビンの側面に菌糸が蔓延するまで培養して栽培試験用の種菌とした。

##### 2.1.2 「えぞ雪の下」標準栽培法 (L培地法)

道総研林産試における「えぞ雪の下」の標準的な方法<sup>10)</sup>に準じて栽培試験を行った。850 mL容ポ

第1表 エノキタケ保存菌株とランダム交配法で作出した菌株

保存菌株	野生種W(採取地) または栽培種C	L培地収量 (g/ビン)	ランダム交配法で 作出した菌株*1
Fv 68-04	W (東川町)	96.3	684-a, -b, -c
Fv 75-01	C	120.1	751-a, -b, -c, -d, -e
Fv 76-07	W (旭川市)	45.1	767-a, -b, -c, -d, -e
Fv 78-02	C	122.8	782-a, -b, -c
Fv 79-01	C	120.7	791-a, -b, -c, -d, -e
Fv 81-01	W (旭川市)	79.3	811-a, -b, -c
Fv 82-01	W (旭川市)	89.4	821-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 82-03	W (旭川市)	135.8	823-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 84-01	C	125.6	841-a, -b, -c, -d, -e
Fv 84-02	C	147.6	842-a, -b, -c, -d, -e
Fv 85-01	W (幌加内町)	109.5	851-a, -b, -c, -d, -e
Fv 86-01	C	145.6	861-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 86-02	C	117.4	862-b, -c
Fv 87-01	W (旭川市)	99.8	871-a, -b, -c
Fv 87-02	C	122.1	872-a, -b, -c
Fv 89-01	W 不明	82.9	891-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 91-02	W (旭川市)	60.3	912-a, -b, -e
Fv 92-02	W (愛別町)	36.5	922-a, -b, -c, -d, -e
Fv 95-02	W (美瑛町) (No Spore Print)*2		
Fv 97-01	W (旭川市)	71.7	971-a, -b, -c
Fv 97-02	W (旭川市)	68.2	972-a, -b, -c, d
Fv 97-03	W (旭川市) (No Spore Print)*2		
Fv 97-04	W (旭川市)	13.6	974-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 97-05	W (旭川市)	70.8	975-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g
Fv 97-06	W (旭川市)	111.6	976-a, -b
Fv 97-07	W (旭川市)	103.1	(No Fruitbody)*3
Fv 98-01	W (旭川市)	108.7	981-a, -b, -c
Fv 98-02	W (旭川市)	6.9	(No Fruitbody)*3
Fv 98-03	W (旭川市)	77.5	983-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 98-04	W (旭川市)	117.8	984-a, -b, -c
Fv 98-05	W (旭川市)	106.9	(No Fruitbody)*3
Fv 98-06	W (旭川市)	77.8	986-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g
Fv 99-05	W (東川町) (No Spore Print)*2		
Fv 00-01	W (上川町)	98.0	001-a, -b, -c, -d, -e
Fv 00-02	W (上川町)	57.4	(No Fruitbody)*3
Fv 00-03	W (美瑛町)	74.5	003-a, -c
Fv 01-01	C	146.6 *4	
Fv 01-02	W (旭川市)	90.0	012-a, -b
Fv 06-01	W (東川町)	54.9	(No Fruitbody)*3
Fv 07-01	W (東神楽町)	50.7	(No Fruitbody)*3
Fv 09-01	W (旭川市)	108.7	091-a, -b, -c, -d, -e
Fv 12-01	W (豊浦町)	71.6	121-a, -b, -c
Fv 13-01	C	152.3 *4	
Fv 13-03	W (西興部村)	85.2	133-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 13-04	W (西興部村)	63.9	134-a, -b, -c, -d, -e, -f, -g, -h, -i, -j
Fv 13-05	W (旭川市) (No Spore Print)*2		
E704	C (H23開発)	159.7	E704-a
E274	C (H23開発)	145.8	E274-a, -b, -c, -d, -e
Fv 92-04	C えぞ雪の下	157.3	(対照菌株)

\*1 作出した菌株名は、孢子親菌株名を短縮した3桁の数字にa~jを付し、本表ではb~jの前の数字を省略した。

\*2 (No Spore Print): 保存菌株の栽培試験で子実体、すなわち孢子紋が得られなかった。

\*3 (No Fruitbody): ランダム交配法で子実体が得られなかった。

\*4 登録品種の可能性が高いため、孢子紋を採取しなかった。

リプロピレン製栽培ビンを用い、カラマツおが粉と米ぬかを混合した培地を作製した。1ビンあたりの米ぬか量は絶乾重量で100gとし、カラマツおが粉はロットにより粒度が異なるため、あらかじめ試験ごとに適切な量を検討し下記のとおりおが粉量と設定水分を適宜修正して調製した。以下、特に区別する必要が無い場合はすべてL培地と呼ぶ。

L1：カラマツ125g（培地600g，設定水分62.5%）

L2：カラマツ120g（培地580g，設定水分62.1%）

L3：カラマツ110g（培地560g，設定水分62.5%）

栽培工程は、種菌を接種後、22°C，70%RH，暗所で菌糸蔓延まで培養を行った。培養後、菌掻き・注水（2時間冠水後排水）を行い、ビンを逆置きにして、13°C，90%RH以上，照明12時間/日の環境下で管理した。子実体原基の形成を確認後、ビンを正置し、子実体が成熟したら写真撮影後、収穫し、石突き部分で切り取り生重量を測定し子実体収量とした。また、子実体収量を栽培日数で除して生産効率<sup>10)</sup>をもとめた。

### 2.1.3 品種登録栽培法（C培地法）

農林水産省品種登録における「えのきたけ種」審査基準に準じて栽培試験を行った。当初は旧審査基準<sup>11)</sup>で、情報入手後は新審査基準<sup>12)</sup>で行った。

旧審査基準では、800mL容ポリプロピレン製栽培ビンを用い、1ビンあたりの培地重量は480g（スギおが粉95g，米ぬか85g，水300g，水分62.5%）である。一方、新審査基準では、栽培ビンが850mL容に変更され、1ビンあたりの培地重量は510g（スギおが粉100g，米ぬか90g，水320g，水分62.7%）となった。以下、特に区別する必要が無い場合は両方ともC培地と呼ぶ。

旧審査基準では、「培養温度20±2°C，原基形成温度13～14°C」と記載されていることから、本研究ではL培地法と同様にそれぞれ22°Cおよび13°Cで管理した。一方、同基準では暗黒化で管理することになっているが、ここではL培地法と同様に、照明12時間/日の環境下で管理した。その後、同基準「子実体が2～3mmに達したら温度6～7°C」に従い、7°C設定の暗所で管理した。

新審査基準での栽培工程は記載どおり行った。すなわち、19°C，70%RH，暗所で菌糸蔓延まで培養を行い、菌掻き後は2時間冠水は行わず「水道水で菌床面洗浄」し、15°C，暗所で原基形成を促した。原基形成確認後、7°C，85%RH，暗所下で管理

し、ケース巻き（紙巻き）を経て、収穫適期に写真撮影後、収穫、生重量を測定し子実体収量とした。また、L培地法と同様に生産効率（子実体収量/栽培日数）を求めた。

## 2.2 ランダム交配菌株の作出

発生する子実体として、Fv92-04と孢子由来単核系統との「ダイヤモンド交配菌株」群，孢子由来単核系統の「自家交配菌株」群，元の「Fv92-04菌株」がランダムに得られることを期待し，保存菌株の孢子混合液をFv92-04のおが粉種菌と同時に接種して栽培試験を行った。

### 2.2.1 孢子混合液の調製と同時接種

L培地法で得られた保存菌株子実体の菌傘1～4個をあらかじめガラスシャーレに入れてオートクレーブ滅菌済みの黒紙（3cm×3cm）上に1晩静置し孢子紋を採取した。50 mL容遠心チューブを用いて，滅菌蒸留水10 mLに各孢子紋を黒紙ごと投入，攪拌・懸濁し孢子混合液とした。培地の接種孔にFv92-04のおが粉種菌を葉サジ1杯（約10-20 mL）接種後，同接種孔上に孢子懸濁液を5 mL接種した。さらに接種孔および培地表面にFv92-04のおが粉種菌を葉サジ1杯（約10-20 mL）接種し，その上に孢子懸濁液を5mL接種した。

培地および栽培工程は2.1.2のL培地法に準じ，供試ビン数は1本ずつとした。

### 2.2.2 交配菌株の分離

各ビンから3～10本の子実体を選択し，それぞれ組織分離を行った。得られた菌株名は，孢子親の菌株名を短縮した3桁の数字にa～jを付した（第1表）。

## 2.3 ランダム交配菌株の栽培特性

### 2.3.1 菌株および種菌

2.2で作出した187菌株をそれぞれPDA平板培地で培養し，その菌糸片を種菌用培地（555mL容ポリプロピレン製栽培ビン，培地量320g；シラカンバおが粉93g，フスマ23g，設定培地水分63.8%）に接種後，ビンの側面に菌糸が蔓延するまで培養して栽培試験用の種菌とした。対照菌株として，Fv92-04（えぞ雪の下）のほか，E704（2013年開発菌株）およびE274（2013年開発菌株）<sup>10)</sup>を供試した。

### 2.3.2 栽培試験と選抜

栽培試験は，2.1.2のL培地法および2.1.3のC培地法（新審査基準）に準じて行った。

1次選抜は185菌株を6回に分けて，供試ビン数4

本ずつで栽培試験を行い、L培地法での子実体収量平均値が対照菌株 (Fv92-04) より高い菌株を選抜した。2次選抜は3.2.1で後述するように選抜した55菌株を7回に分けて、供試ビン数8本ずつで栽培試験を行った。1次選抜および2.4 食味試験の結果も考慮し、L培地法での子実体収量平均値が対照菌株 (Fv92-04) より高い菌株を選抜した。3次選抜は3.2.2で後述するように選抜した16菌株を4回に分けて栽培試験 (供試ビン数16本) を行い、L培地法での子実体収量平均値または生産効率 (子実体収量/栽培日数) が対照菌株 (Fv92-04) より高い菌株を選抜した。

## 2.4 食味試験

### 2.4.1 試料

2回目の栽培試験においてL培地法で得られた子実体 (55菌株, 対照菌株: Fv92-04, E704, E274) を用いた。

### 2.4.2 調理方法

- ①各子実体の可食部分 (100g) を裁断した (ビン口で切って、さらに半分の長さに切った)。
- ②陶器の皿に載せて霧吹きで水道水を1回噴霧した。
- ③ラップをかけて電子レンジ (600W) で1分30秒加熱した。

### 2.4.3 評価方法

試料1菌株につき第1図に示す評価用紙を1枚用いた。4項目 (かたさ, 食感の好ましさ, 味の濃さ, 味の好ましさ) について、対照と比較して5段階で評価した。「かたさ」と「味の濃さ」は分析型官能評価, 「食感の好ましさ」と「味の好ましさ」は嗜好型官能評価と位置づけた<sup>13)</sup>。

食する順番や回数等は、特に指示しなかった。評価結果は以下例のような値 (5, 4, 3, 2, 1) に変換して試料毎に平均値を求めた。

Q1かたさ: かたい5, 同じ3, やわらかい1

Q2食感の好ましさ: 好5, 同じ3, 嫌1

Q3味の濃さ: 濃5, 同じ3, うすい1

Q4味の好ましさ: 好5, 同じ3, 嫌1

## 2.5 統計解析

「エクセル統計2015」 ((株) 社会情報サービス) を用いて、それぞれの栽培試験で「収量」および「生産効率」について統計解析を行った。

「菌株&収量」, 「菌株&効率」2列のデータ配置で「多元配置分散分析」および「Dunnett法」による多重比較を行った。対照群は、Fv92-04とした。

食味試験の評価結果 (平均値) を用いて、4項目 (Q1かたさ, Q2食感の好ましさ, Q3味の濃さ, Q4味の好ましさ) 間の相関係数をもとめ、無相関の検定を行った。

## 3. 結果と考察

### 3.1 ランダム交配菌株の作出

#### 3.1.1 保存菌株の栽培試験

供試した48菌株の中で、対照菌株 (Fv92-04) に比べ有意に高収量, 生産効率のよい菌株はなかった。そのため、L培地法で子実体が得られなかった4菌株 (Fv95-02, Fv97-03, Fv99-05, Fv13-05) および登録品種の可能性が高い2菌株 (Fv01-01, Fv13-01) を除くすべての42菌株から孢子紋を採取した (第1表)。

#### 3.1.2 ランダム交配栽培試験

孢子紋が得られた42菌株それぞれの孢子混合液と「えぞ雪の下」の同時接種試験の結果, 42ビン中36ビンで子実体が発生した。収量は示していないが, 148.0g/ビン (孢子親菌株; Fv76-07) から8.1g/ビン (同; Fv97-06) まで菌株間にバラツキが

【対照】比較する菌株の  
□にチェック[レ]して下さい。

菌株

□ Fv92-4  
□ E274  
□ E704

対照に比べて最も近い評価を○で示して下さい。  
(5段階)

Q1 かたさ |\_|\_|\_|\_|  
かたい    同じ    やわらかい

Q2 食感の好ましさ |\_|\_|\_|\_|  
好                    同じ                    嫌

Q3 味の濃さ |\_|\_|\_|\_|  
濃                    同じ                    うすい

Q4 味の好ましさ |\_|\_|\_|\_|  
好                    同じ                    嫌

Q5 その他ご意見ありましたら記入して下さい。

お名前 \_\_\_\_\_

第1図 食味試験に用いた評価用紙

見られ6菌株（同；Fv97-07, Fv98-02, Fv98-05, Fv00-02, Fv06-01, Fv07-01）のビンからは子実体が得られなかった。形態が良好な子実体から様々なサイズを選択し、組織分離で新たに187菌株を得た（第1表）。

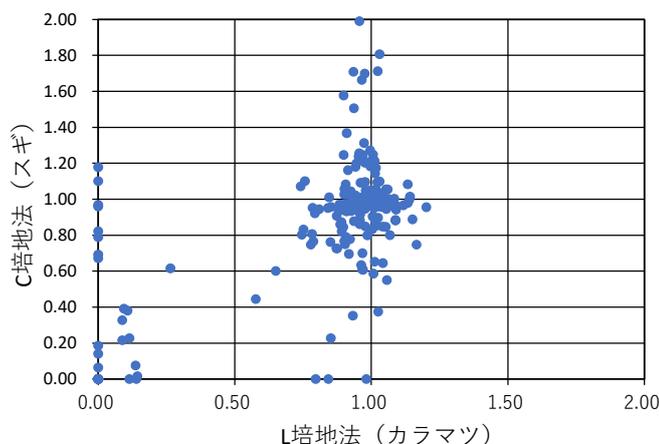
### 3.2 ランダム交配菌株の選抜

#### 3.2.1 ランダム交配菌株の栽培試験（1次選抜）

得られた187菌株を555 mL容栽培ビン（2.3.1）で2本ずつ種菌を作製した。種菌の菌糸蔓延は20～23日で対照菌株の18～19日より遅く、雑菌汚染で種菌を作製できなかった2菌株（791d, 811c）は除外した。

第2図に185菌株のL培地法とC培地法での栽培試験結果（収量分布）を示す。

対照菌株（Fv92-04）の収量および生産効率が試験毎にバラつくことを考慮し、それぞれの栽培試験で、対照群（Fv92-04）との多重比較を行った。その結果、L培地法では2回目の栽培試験において有意に収量および生産効率が高い6菌株（872-c, 922-a, 871-c, 872-b, 872-a, 871-a）が検出された。また、3回目の栽培試験において雑菌汚染が大規模に発生し、L培地法では22菌株が収穫なしあるいは1ビンのみ収穫のため解析不可となったが、再試験は行わなかった。収量分布のバラツキから、ランダム交配で発生した子実体から分離した菌株はFv92-04ではなく、様々な菌株が得られたことが示唆された。また、C培地法での広がり大きいことは、品種登録における対照品種（えぞ雪の下な



第2図 ランダム交配で得られた185菌株の栽培試験結果（収量）の分布（1次選抜）

L培地法（n=4）とC培地法（n=4）それぞれにおける収量を対照菌株（Fv92-04）と比較した。Fv92-04の収量を1.00とした。L培地法で対照菌株より収量が高かった（横軸で1.00より右側に分布）55菌株を選抜した。

ど）との区別性において好ましい。L培地法で対照菌株より収量が高かった55菌株を選抜した。

#### 3.2.2 ランダム交配菌株の2次選抜

第2表に1次選抜した55菌株の栽培試験（L培地法およびC培地法における収量および生産効率）と食味試験の結果を示した。

1次選抜と同様に7回の試験それぞれについて対照群（Fv92-04）との多重比較を行った。その結果、L培地法において有意に収量（922-d； $p < 0.05$ ）または生産効率（821-e, 821-f； $p < 0.01$ ）が高い3菌株が検出された。

食味試験の対照菌株は、基本的にFv92-04としたが、栽培日数の関係で一部はE704またはE274を対照とした。

「Q1かたさ」について、対照がFv92-04の場合、「かたい」が16菌株、「同じ」が2菌株、「やわらかい」が26菌株であった。対照がE704の場合、「かたい」が5菌株、「同じ」が1菌株、「やわらかい」が4菌株であった。対照がE274の場合、「かたい」が1菌株、「同じ」が0菌株、「やわらかい」が0菌株であった。

「Q2食感の好ましさ」（＝食感良）について、対照がFv92-04の場合、「好」が20菌株、「同じ」が8菌株、「嫌」が16菌株であった。対照がE704の場合、「好」が8菌株、「同じ」が2菌株、「嫌」が0菌株であった。対照がE274の場合、「好」が1菌株、「同じ」が0菌株、「嫌」が0菌株であった。

55菌株の全データを用いて、4項目（Q1かたさ、Q2食感の好ましさ＝食感良、Q3味の濃さ、Q4味の好ましさ＝味良）間の相関係数をもとめた（第3表）。「Q3味の濃さ」と「Q4味の好ましさ（＝味良）」間で有意な相関が認められた（相関係数0.69,  $p < 0.01$ ）が、「Q1かたさ」と「Q2食感の好ましさ（食感良）」間では相関が認められなかった（相関係数0.22）。一方、「Q1かたさ」と「Q3味の濃さ」間（相関係数0.38）および「Q1かたさ」と「Q4味の好ましさ（＝味良）」間（相関係数0.39）でも有意な相関（ $p < 0.01$ ）となった。これは、「かたさ」が咀嚼回数を介して「味の濃さ」に影響したことが考えられる。

栽培試験の結果から、L培地法で対照菌株より収量が高かった12菌株を選抜した。また、食味試験の4項目すべてが対照菌株と同等以上の3菌株（841-e, 842-b, 871-b）と食味試験3項目が同等以上でか

第2表 ランダム交配菌株の栽培特性(相対比)および食味評価試験結果(2次選抜)

菌株*	栽培特性				対照菌株	食味試験				菌株*
	L培地法(カラマツ)		C培地法(スギ)			Q1	Q2	Q3	Q4	
	収量	生産効率	収量	生産効率	かたさ	食感良	味濃い	味良		
821-e	1.075	1.160	0.989	0.944	Fv92-04	2.80	2.70	2.80	3.20	821-e
821-f	1.074	1.141	1.055	1.011	Fv92-04	2.60	2.90	3.20	3.30	821-f
922-d	1.071	1.019	1.061	1.089	Fv92-04	2.40	2.70	2.50	2.50	922-d
975-a	1.049	0.993	1.062	1.083	Fv92-04	2.80	3.50	2.70	2.70	975-a
974-c	1.036	1.049	0.608	0.569	Fv92-04	2.64	3.00	3.09	3.27	974-c
891-i	1.025	1.040	0.750	0.693	Fv92-04	2.78	3.00	2.89	3.00	891-i
012-b	1.020	1.062	1.596	1.663	Fv92-04	3.36	3.27	2.55	3.27	012-b
872-a	1.019	1.047	1.119	1.160	Fv92-04	3.40	3.10	3.30	3.20	872-a
842-a	1.017	1.008	1.211	1.280	Fv92-04	3.18	2.91	2.36	2.73	842-a
872-b	1.012	1.029	1.109	1.124	Fv92-04	2.91	3.45	2.73	2.82	872-b
821-d	1.010	1.088	0.923	0.841	Fv92-04	2.60	2.90	3.10	3.20	821-d
751-b	1.006	0.996	1.104	1.051	Fv92-04	3.33	3.00	3.17	3.50	751-b
841-e	0.998	0.999	1.111	1.165	Fv92-04	3.27	3.09	3.00	3.18	841-e
821-b	0.995	1.084	1.087	1.079	E274	3.30	3.20	2.70	3.10	821-b
971-a	0.994	1.023	0.479	0.438	Fv92-04	2.90	2.80	2.60	2.60	971-a
891-g	0.991	1.000	0.669	0.666	Fv92-04	2.80	3.00	2.30	2.50	891-g
891-h	0.989	1.002	0.426	0.402	E704	2.70	3.20	2.90	3.00	891-h
842-b	0.988	0.988	1.100	1.136	Fv92-04	3.09	3.09	3.00	3.00	842-b
974-e	0.985	1.022	0.825	0.763	Fv92-04	2.90	2.90	2.70	2.80	974-e
861-g	0.984	1.045	1.077	1.118	E704	2.78	3.22	2.44	2.78	861-g
922-c	0.980	1.016	1.083	1.139	Fv92-04	2.82	3.27	2.82	2.82	922-c
922-a	0.979	0.982	1.177	1.215	Fv92-04	3.36	3.00	2.91	2.91	922-a
861-f	0.977	1.042	1.033	1.095	E704	3.00	3.11	2.78	3.33	861-f
861-a	0.976	1.006	1.006	1.037	Fv92-04	2.91	3.09	2.36	2.82	861-a
684-c	0.974	1.032	0.994	0.910	Fv92-04	2.90	3.20	2.80	3.00	684-c
891-d	0.966	0.963	0.922	0.877	Fv92-04	3.00	2.88	2.75	2.88	891-d
976-a	0.965	0.964	0.763	0.716	E704	3.09	3.00	2.73	2.73	976-a
872-c	0.965	0.989	1.120	1.176	Fv92-04	3.22	3.22	3.10	2.90	872-c
821-a	0.963	0.955	1.103	1.034	Fv92-04	2.50	2.67	2.42	2.75	821-a
823-b	0.963	0.962	0.835	0.800	Fv92-04	2.78	2.89	2.56	3.00	823-b
922-b	0.960	0.981	1.214	1.276	Fv92-04	3.10	3.20	2.90	3.20	922-b
891-e	0.959	0.973	0.833	0.838	Fv92-04	2.88	3.25	2.63	2.75	891-e
986-d	0.955	0.975	1.062	1.152	E704	3.11	3.11	2.78	3.00	986-d
891-c	0.954	0.963	0.723	0.693	Fv92-04	2.63	3.13	2.25	2.50	891-c
823-f	0.950	0.965	1.035	1.062	E704	2.56	3.00	2.89	2.89	823-f
134-e	0.948	0.972	1.078	1.010	Fv92-04	2.90	3.10	2.80	3.40	134-e
871-b	0.945	1.122	1.141	1.159	E704	3.44	3.33	3.33	3.44	871-b
851-b	0.940	0.962	1.195	1.206	Fv92-04	3.11	2.89	2.89	3.00	851-b
841-c	0.933	0.967	0.906	0.918	E704	3.11	3.33	3.00	3.22	841-c
983-e	0.925	0.912	0.800	0.765	Fv92-04	3.11	2.78	2.78	2.89	983-e
871-a	0.913	1.100	1.196	1.213	Fv92-04	3.00	2.89	2.56	3.11	871-a
851-c	0.912	0.909	0.955	0.903	Fv92-04	3.11	3.00	3.00	3.11	851-c
862-c	0.911	1.106	1.086	1.126	Fv92-04	3.11	3.33	3.22	3.00	862-c
891-b	0.906	0.953	0.881	0.845	Fv92-04	2.60	3.30	2.80	3.10	891-b
862-b	0.902	1.087	1.184	1.204	Fv92-04	2.89	3.22	2.56	2.67	862-b
861-i	0.897	1.033	1.216	1.293	Fv92-04	2.91	3.00	2.73	3.09	861-i
823-j	0.894	0.889	0.848	0.821	E704	2.78	3.22	2.56	2.78	823-j
823-d	0.891	0.876	0.750	0.718	Fv92-04	3.30	2.90	3.00	3.00	823-d
823-c	0.882	0.872	0.944	0.885	Fv92-04	2.56	2.89	2.78	3.00	823-c
821-j	0.875	0.942	1.066	1.143	Fv92-04	2.67	2.83	2.50	2.58	821-j
871-c	0.864	1.034	1.187	1.233	E704	3.22	3.11	2.78	3.00	871-c
861-j	0.860	1.029	1.166	1.194	Fv92-04	2.89	3.22	2.67	3.00	861-j
823-i	0.837	0.801	0.727	0.665	Fv92-04	3.10	3.00	2.70	2.80	823-i
891-f	0.835	0.850	0.758	0.787	Fv92-04	3.11	3.11	2.78	3.00	891-f
861-h	0.619	0.670	0.202	0.208	Fv92-04	2.80	3.50	2.70	2.70	861-h

選抜菌株

>1

>平均値(3.00)

選抜菌株

有意に大 (L培地法のみ)

第3表 食味試験における4項目間の相関

a 食味試験4項目間の相関係数

	かたさ	食感良	味濃い	味良
かたさ	1.0000	0.2222	0.3770	0.3881
食感良	0.2222	1.0000	0.1478	0.0846
味濃い	0.3770	0.1478	1.0000	0.6938
味良	0.3881	0.0846	0.6938	1.0000

b 母相関係数の無相関の検定

	かたさ	食感良	味濃い	味良
かたさ	-	0.1030	0.0045	0.0034
食感良		-	0.2814	0.5390
味濃い	**		-	P < 0.001
味良	**		**	-

右上の無色欄:P値

左下の着色欄:\*, p<0.05 \*\*, p<0.01

つ栽培特性も良好な1菌株（861-f）を加え、合計16菌株を選抜した。

### 3.2.3 ランダム交配菌株の3次選抜

第4表に2次選抜した16菌株の栽培試験（L培地法およびC培地法における収量および生産効率）の結果を示した。

2回目の試験でL培地法において雑菌汚染が多発したため、3回目はL培地法のみ再試験を行った。対照菌株（Fv92-04）は、L培地法4回とC培地法3回の栽培試験で、両方において「収量」および「生産効率」ともにバラツキが見られたため、それぞれの栽培試験で、対照群（Fv92-04）との多重比較を行った。その結果、L培地法において有意に収量が高いのは1菌株（012-b ; p < 0.01）で、生産効率

が高いのは別の1菌株（975-a ; p < 0.05）だった。一方、L培地法で収量および生産効率が有意に低いのは1菌株（821-d ; p < 0.01）, 生産効率が有意に低いのは2菌株が検出された（751-b ; p < 0.05, 821-e ; p < 0.01）。なお、雑菌汚染が多発したL培地法2回目の試験は除外した。

## 4. まとめ

野生型エノキタケ新品種開発を目指して、孢子混合液を用いたランダム交配菌株の作出と選抜を行った。本法で得られた185菌株をL培地法とC培地法で検討した結果、各菌株の特性を反映する収量や生産効率の分布にバラツキが見られ、様々な菌株が得られたことが示唆された。L培地法での栽培

第4表 ランダム交配菌株の栽培特性(3次選抜試験結果)

菌株	L培地法(カラマツ)			C培地法(スギ)						
	収量*1,2	生産効率*1,2	実施回*1	収量*1,2	生産効率*1,2	実施回*1				
012-b	1.084	++	1.002	4th	1.006	1.013	4th			
751-b	0.958		0.930	-	1st	1.237	++	1.244	++	1st
821-d	0.935	-, -	0.863	-, -	1st	1.246	++	1.249	++	1st
821-e	0.955		0.885	-, -	1st	1.215	++	1.244	++	1st
821-f	1.023		1.046		1st	1.239	++	1.256	++	1st
842-a	0.956		0.934		1st	1.322	++	1.389	++	1st
841-e	1.012		1.043		1st	1.179	++	1.211	++	1st
842-b	1.041		1.058		1st	1.296	++	1.329	++	1st
861-f	0.942		0.966		3rd	0.832	-, -	0.766	-, -	2nd
871-b	1.030		1.081		3rd	0.734	-, -	0.677	-, -	2nd
872-a	0.990		1.020		3rd	0.836	-, -	0.777	-, -	2nd
872-b	0.994		1.040		3rd	0.902		0.869	-, -	2nd
891-i	1.005		1.002		3rd	0.642	-, -	0.586	-, -	2nd
922-d	0.929		0.900		3rd	0.698	-, -	0.633	-, -	2nd
974-c	1.024		0.993		4th	0.991		0.992		4th
975-a	1.072		1.121	+	3rd	0.734	-, -	0.645	-, -	2nd

\*1 栽培試験は4回実施し、それぞれの栽培試験で対照菌株（Fv92-04）に対する子実体収量(g/ビン)および生産効率(収量/栽培日数)の比を示した。

\*2 数字の右側の記号は統計的有意差があることを示す。(Dunnett法による多重比較, 供試ビン数16本/菌株)  
 ++:1%の危険率で大きい, +:5%の危険率で大きい, -:5%の危険率で小さい, -, -:1%の危険率で小さい

特性（収量，生産効率）を主な指標とし，食味試験の評価を考慮して選抜を行った。対照菌株Fv92-04（えぞ雪の下）に対して，L培地法で栽培特性が有意に優れていたのは，2次選抜で3菌株，3次選抜で2菌株であり，それぞれ異なる菌株であった。

今後は，実生産に適した菌株を絞り込むため，これらを含む複数菌株を用いて，実際の生産現場で栽培試験を行う。

#### 謝 辞

（一社）北海道林産技術普及協会の杉森紀和子氏，伊藤千穂氏，松下美恵子氏には，栽培試験全般の作業で大変お世話になりました。また食味試験では，多くの道総研林産試の職員にも協力していただきました。記して謝意とします。

#### 5. 引用文献

- 1) 北海道水産林務部林業木材課：“北海道特用林産統計（令和元年）”，札幌，pp.1-25（2021）.  
[https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04\\_mokusan/tokusantoukei.html](https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/rrm/04_mokusan/tokusantoukei.html)
- 2) 中村公義：“最新バイオテクノロジー全書7きのこの増殖と育種”，最新バイオテクノロジー全書編集委員会編，農業図書，東京，pp.246-248（1992）.
- 3) 今関六也，大谷吉雄，本郷次男：“増補改訂新版 山溪カラー名鑑日本のきのこ”，山と溪谷社，東京，pp.138-139（2011）.
- 4) 瀧澤南海雄：林産試だより，1991年4月号，1-3（1991）.
- 5) Yoneyama,S.,Gisusi,S.,Sato,M.,Watanabe,O., : International Society for Mushroom Science Congress（Proceedings of ISMS）, 815-821（2012）.
- 6) 米山彰造：林産試だより，2012年1月号，2-3（2012）.
- 7) 北本豊：木材学会誌，52（1），1-7（2006）.
- 8) 金子周平：森林遺伝育種，2，113-116（2013）.
- 9) 伊東英武，瀧澤南海雄，中村米松，押切靖：林産試験場報，3（2），18-25（1989）.
- 10) 米山彰造，佐藤真由美，宜寿次盛生，加藤幸浩，東智則：林産試験場報，544，41-47（2016）.
- 11) 農林水産省 輸出・国際局 知的財産課：“えのきたけ種，2017年12月”，農林水産省品種登録ホームページ，審査基準・特性表，2019年5月19日ダウンロード
- 12) 農林水産省 輸出・国際局 知的財産課：“えのきたけ種，2021年06月”，農林水産省品種登録ホームページ，審査基準・特性表，2021年8月3日ダウンロード  
[http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/botanical\\_taxon.html](http://www.hinshu2.maff.go.jp/info/sinsakijun/botanical_taxon.html)
- 13) 古川秀子：“おいしさを測るー食品官能評価の実際ー”，幸書房，東京，pp.5-6（1994）.

ー利用部 微生物グループ

ー\*1：利用部 バイオマスグループ

ー\*2：森林研究本部 企画調整部企画グループ

（原稿受理：2021.11.16）

## エリンギの菌床栽培における早生樹「ヤナギ」の利用

原田 陽\*<sup>1</sup>, 折橋 健\*<sup>2</sup>, 檜山 亮\*<sup>3</sup>, 棚野 孝夫\*<sup>4</sup>

### Utilization of fast-growing “Willow” trees for sawdust-based cultivation of *Pleurotus eryngii*

Akira HARADA, Ken ORIHASHI, Ryo HIYAMA and Takao TANANO

日本きのこ学会誌, 28, 165-170 (2020).

Mushroom Science and Biotechnology, 28, 165-170 (2020).

キーワード : エリンギ, 菌床栽培, ヤナギ, 官能評価

Key words : *Pleurotus eryngii*, sawdust-based cultivation, willow, sensory evaluation

木質バイオマス資源で注目され、早生樹であるヤナギ（オノエヤナギ，エゾノキヌヤナギ）のおが粉が，エリンギ菌床栽培における子実体発生に及ぼす影響を評価した。袋栽培における培地基材の影響を評価した結果，ヤナギ区の収量（単位重量当り）はカンバ区比最大1.55倍となった。また，ビン栽培における培地詰込量の影響を評価した結果，ヤナギ区の収量（単位重量当り）はコーンコブ区比最大1.14倍で，コーンコブ区より少ない培地詰込量で収量が同程度となった。栽培試験に供した培地基材の成分分析の結果から，ヤナギ2樹種の構成成分の特徴は他の材料と明らかに異なり，各材料の中間的な位置にある特徴が示された。栽培試験で得られたエリンギの官能評価を行った結果，ヤナギ区のエリンギは味や食感により高い評価が得られた。以上の結果から，オノエヤナギやエゾノキヌヤナギのおが粉は，エリンギの菌床栽培に有効である。

The sawdust of willows, *Salix udensis* and *Salix pet-susu*, which are known as fast growing trees and have gained attention as woody biomass resources, was investigated for its applicability as a substrate for the sawdust-based cultivation of *Pleurotus eryngii*. For bag cultivation, the yield on the willow substrate was 1.55 times greater than that using the birch (*Betula platyphylla*) substrate. For bottle cultivation, the yield on the willow substrate was 1.14 times greater than that on the corncob substrate, even though the weight of the willow substrate per bottle was less than that of the corncob substrate. Chemical components exhibited significant differences among individual sawdust and corncob samples. The characteristics of the two willow species showed an intermediate position. In the sensory evaluation of the taste and texture of fruiting bodies, those cultivated on the willow substrate were evaluated as the highest. These results suggest that *S. udensis* and *S. pet-susu* will be useful as resources for the sawdust-based cultivation of *P. eryngii*.

\*<sup>1</sup>利用部微生物グループ，\*<sup>2</sup>企業支援部研究調整グループ，\*<sup>3</sup>利用部バイオマスグループ，\*<sup>4</sup>白糠町役場



林 産 試 験 場 報  
(林産試験場月報からの通巻549号)

編集人 林産試験場刊行物編集委員会  
発行人 地方独立行政法人北海道立総合研究機構  
森林研究本部 林産試験場  
〒071-0198 旭川市西神楽1線10号  
電話 0166-75-4233(代表)  
FAX 0166-75-3621  
HP <http://www.hro.or.jp/fpri.html>

令和4年3月4日 発行  
3月25日 Web公開

# JOURNAL OF THE FOREST PRODUCTS

## RESEARCH INSTITUTE

NO.549, 2022

### Original Article

- The effect of efflorescence on the fire performance of fire-retardant-treated wood ..... (1)  
Masayuki KAWARASAKI, Kazuto SEKI, Yasushi HIRABAYASHI

### Research Notes

- Wood qualities of European spruce (*Picea abies*) grown in Ashibetsu ..... (8)  
Satoru MURAKAMI, Hisashi OHSAKI
- Fuel quality of logs left in the forest ..... (12)  
Atsushi YAMADA, Kouei NISHIMIYA, Ryo HIYAMA, Hisashi AKUTSU
- Study on the use of woody biomass combustion ash (5)  
Ash brightness and snow melting effect ..... (15)  
Ken ORIHASHI, Hisashi AKUTSU, Akira HARADA
- Study on the use of woody biomass combustion ash (6)  
The corrective effect of pH on acidic soil ..... (19)  
Ken ORIHASHI, Hisashi AKUTSU, Akira HARADA
- Study on the performance estimation of timber joint combined with different types of connectors ..... (25)  
Masahiko TODA, Ryosuke TOMITAKA
- Investigation of CLT preservation treatment using deep penetration treatment ..... (30)  
Teruhisa MIYAUCHI, Yoshinori OHASHI, Junko MIYAZAKI, Ryuya TAKANASHI,  
Hiromi SHIBUI, Shinichi ISAJI, Tomomi SHIGEYAMA, Yoshiaki SUGAI,  
Akira YAMAMOTO, Tsuyoshi HARAMIISHI, Takuro MORI, Hiroshi MATSUNAGA
- Thermal fluid behavior of steam treatment wood with aqueous organic acid ..... (36)  
Yuu HASEGAWA, Takashi OHICHI
- Breeding of new wild-type *Flammulina velutipes* varieties ( I )  
Creation and selection of random hybrid strains ..... (43)  
Seiki GISUSI, Shozo YONEYAMA, Sayaka SAITO,  
Tomonori AZUMA, Ryo HIYAMA, Mayumi TSUDA

### Abstract

- Utilization of fast-growing “Willow” trees for sawdust-based cultivation of *Pleurotus eryngii* ..... (51)  
Akira HARADA, Ken ORIHASHI, Ryo HIYAMA and Takao TANANO

## FOREST PRODUCTS RESEARCH INSTITUTE

FOREST RESEARCH DEPARTMENT  
HOKKAIDO RESEARCH ORGANIZATION

Nishikagura 1-10, Asahikawa  
HOKKAIDO, 071-0198, JAPAN