

区分	受託研究
研究期間	令和3～5年度

令和5年度受託研究報告書

保存処理された単板積層材の 耐朽性評価

研究実施期間：令和3年10月13日～令和6年3月31日

令和6年3月

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

1. はじめに.....	1
2. 試験体と試験方法	1
2.1 試験体	1
2.2 浸潤度と吸収量の測定.....	2
2.2.1 浸潤度の測定	2
2.2.2 吸収量の測定.....	3
2.3 ファンガスセラータ試験.....	5
2.4 腐朽源ユニットを用いた耐朽性評価試験.....	6
3. 結果	7
3.1 浸潤度と吸収量	7
3.1.1 BAAC で処理した LVL の結果.....	7
3.1.2 AZN で処理した LVL の結果.....	8
3.1.3 CYBI で処理した LVL の結果.....	8
3.1.4 AAC、CUAZ および CYBI で処理した集成材の結果	9
3.2 ファンガスセラータ試験.....	13
3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験.....	14
4. まとめ.....	17
5. 補足資料.....	18
6. 参考文献.....	32

1. はじめに

平成 29 年に、単板積層材（LVL）の日本農林規格（JAS）において、保存処理規定が新たに追加された。JAS における保存処理薬剤の浸潤度基準は、木質材料の種類によって異なっており、LVL の JAS には、製材や集成材にはない浸潤度基準（全断面 60%）が設けられている。今後、全国 LVL 協会では、保存処理された LVL 製品についても JAS に適合した製品の運用を目指しており、そのためには、現状の LVL の保存処理の生産性・製造工程を踏まえて、他材料よりも厳しく設定された浸潤度基準の緩和、使用できる薬剤の追加といった JAS 改正を進める必要があると考えている。

JAS 改正の議論を進めるためには、実大製品に近い断面寸法の試験体を用いての耐朽性能の把握が必要になる。そこで本試験では、保存処理 LVL の耐朽性能の特徴を把握するため、保存処理材として使用実績が多い保存処理集成材を比較材料に用いて、異なる条件で製造された保存処理 LVL の耐朽性評価を実施した。

2. 試験体と試験方法

2.1 試験体

表 1 に、試験体の概要を示す。これらの試験体は、全国 LVL 協会から提供を受けた。LVL の試験体の中で、BAAC と AZN の薬剤については、現行の JAS の浸潤度基準を満たす仕様（表層 10 mm：80%、かつ全断面：60%）と製造コストや薬剤使用量の削減を図る仕様を用意した。CYBI は、今後 JAS への追加をめざす薬剤であり、本試験では、JAS の浸潤度基準を満たす条件と、薬剤使用量を削減した仕様（表層 10 mm：80%）を用意した。耐朽性評価の比較として用いた保存処理集成材については、現行の優良木質建材等認証（AQ）2 種に準拠する仕様を用意した。

ファンガスセラー試験用の試験体寸法は、105×105×150 mmとした。各試験体の木口面はシリコンコーキングを用いてシールした。これらの耐朽性評価試験に用いた試験体を切り出した際に別途同程度の寸法の試験体を切り出して、浸潤度と吸収量の測定用試験体とした。

試験体は、20℃ 65%RH の恒温恒湿室にて質量変化が安定するまで養生し、調湿後、項目 2.3 と 2.4 の耐朽性評価に供した。試験体の繰り返し数は、それぞれ 3 体とした。

表 1 試験体一覧

No.	材料	樹種	薬剤	処理方法	目標とした浸潤の程度	備考
A01	LVL	スギ (生単板心材)	BAAC	単板処理	全断面 60%	乾燥コスト削減タイプ
A03	LVL	スギ (乾燥単板心材)	BAAC	単板処理	表層10mm 80%、全断面 60%	JAS 準拠
A04	LVL	スギ (乾燥単板辺材)	BAAC	単板処理	表層10mm 80%、全断面 60%	JAS 準拠
A05	LVL	ラジアータパイン	AZN	製品処理	表層10mm 80%	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)
A06	LVL	ラジアータパイン	AZN	製品処理	表層10mm 80%、全断面 60%	JAS 準拠
A07	LVL	スギ	CYBI	製品処理	表層10mm 80%	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)
A08	LVL	スギ	CYBI	製品処理	全断面 60%	新規追加希望 (JAS準拠)
A09	LVL	カラマツ	CYBI	製品処理	表層10mm 80%	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)
A10	LVL	カラマツ	CYBI	製品処理	全断面 60%	新規追加希望 (JAS準拠)
A11	LVL	ラジアータパイン	CYBI	製品処理	表層10mm 80%	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)
A12	LVL	ラジアータパイン	CYBI	製品処理	全断面 60%	新規追加希望 (JAS準拠)
A13	集成材	スギ	AAC	製品処理	表層10mm 80%	比較用 (AQ2種 準拠)
A14	集成材	スギ	CUAZ	製品処理	表層10mm 80%	比較用 (AQ2種 準拠)
A15	集成材	スギ	CYBI	製品処理	表層10mm 80%	比較用 (AQ2種 準拠)
A16	集成材	カラマツ	CYBI	製品処理	表層10mm 80%	比較用 (AQ2種 準拠)
A17	LVL	スギ	-	-	-	比較用
A18	LVL	カラマツ	-	-	-	比較用
A19	LVL	ラジアータパイン	-	-	-	比較用
A20	LVL	ヒノキ	-	-	-	比較用
A21	集成材	スギ	-	-	-	比較用
A22	集成材	カラマツ	-	-	-	比較用
A23	製材	ヒノキ	-	-	-	比較用

1) BAAC: ホウ素・第4級アンモニウム系、AZN: アゾール・ネオニコチノイド系、CYBI: アゾール・ピレストロイド系、AAC: 第4級アンモニウム系、CUAZ: 銅・アゾール系

2.2 浸潤度と吸収量の測定

2.2.1 浸潤度の測定

浸潤度と吸収量の測定は、製材⁵⁾、集成材⁶⁾、LVL⁷⁾のJASなどで規定されている方法に準拠して実施した(表2)。ただし、BAACで処理されたLVLについては、LVLのJASで規定されている方法では発色が不明瞭であったため、製材のJASで規定されている方法に準拠した。また、現行のJASでは取り扱われていないCYBIについては、同じく亜鉛化合物を浸潤度のインジケータとして用いているAZNと同じ方法で実施した。また、スキャン画像における呈色部の面積の測定はImage Jを用いて行った。

処理条件ごと3体の処理材の中央部から厚さ10mm程度の試験体を切り出し、その切断面に対して、浸潤度の測定を行った。浸潤度の測定は切断面の端部から10mmの範囲の断面(表層10mm)と全断面に対する薬剤が浸透した面積の割合(%)として算出し、3体の平均値を求めた(繰返し3回)。各試験体の呈色の様子は、5章の補足資料における図16に示した。

表2 浸潤度の測定に用いた呈色試薬と方法

木材保存剤	呈色試薬	方法
BAAC、AAC	ブロモフェノールブルー	<ul style="list-style-type: none"> ・酢酸 18 g を水 100 mL に溶解したものを噴霧した後、ブロモフェノールブルー0.2 g をアセトン 100 mL に溶解したものを噴霧 ・3分以上経過した後、噴霧面をスキャナーで取り込み青色に呈色した部分の面積を測定した。
AZN、CYBI	ジチゾン	<ul style="list-style-type: none"> ・ジチゾン (1, 5-ジフェニルチオカルバゾン) 0.1 g をアセトン 100 mL に溶解したものを噴霧 ・所定時間室温下で放置後、噴霧面をスキャナーで取り込み赤色に呈色した部分の面積を測定した。
CUAZ	クロムアズロール S	<ul style="list-style-type: none"> ・クロムアズロール S 0.5 g 及び酢酸ナトリウム 5 g を水 500 mL に溶解したものを噴霧 ・所定時間室温下で放置後、噴霧面をスキャナーで取り込み青色に呈色した部分の面積を測定した。

2.2.2 吸収量の測定

浸潤度の測定を行った試験体の4辺の中央部から、厚さはそのまま(10 mm程度)、各辺に平行な方向が20 mm、垂直な方向が10 mmとなるように試験片を切り出した。節などの存在により試験片の切り出しが困難な場合は、辺の中央部からずらした位置で採取した。4つの試験片を合わせ、2 mmのメッシュを通過するようにカッターミルで粉砕したものを分析用試料とした。有効成分ごとに下記の手順により吸収量を測定した。なお、吸収量の測定手順は概ね JAS⁵⁻⁷⁾ で規定されている方法を用いたが、効率性の面から若干の変更を加えているものもある。また、JAS で規定のない有効成分については AQ 認証で用いられている方法などを参考とした方法で測定した。

① シプロコナゾール

- ・分析用試料 1 g に対し、20 mL のメタノールを用いた超音波抽出 (のべ2時間) を行った後、シリンジフィルターでろ過したものを抽出溶液とした。
- ・抽出溶液のうち 1 mL を、強陽イオン交換カートリッジを用いた固相抽出により精製し、下記の移動相に再溶解したものを高速液体クロマトグラフ (HPLC) 分析に供した。
- ・下記の条件による HPLC 分析を行い抽出溶液中のシプロコナゾールを定量した。
 カラム Kinetex C18 (粒子径: 2.6 μm、直径 3 mm、長さ 100 mm)
 移動相 アセトニトリル: 水: リン酸緩衝液 (100 mM pH 2.1) = 60: 30: 10、
 流速 0.75 mL/min
 検出 221 nm (UV 検出)
- ・シプロコナゾールの定量値と分析用試料の密度から吸収量 (kg/m³) を算出した

② ビフェントリン

- ・分析用試料 1 g に対し、20 mL のメタノールを用いた超音波抽出 (のべ2時間) を行った後、シリンジフィルターでろ過したものを抽出溶液とした (シプロコナゾールの測定で調製したものを使用)。
- ・抽出溶液の一部を下記の条件による HPLC 分析に供し、ビフェントリンを定量した。

カラム Kinetex C18 (粒子径 : 2.6 μm 、直径 3 mm、長さ 150 mm)

移動相 アセトニトリル : 水 = 75 : 25

*分析対象成分の溶出後アセトニトリル : 水 = 90 : 10 を用いてカラム洗浄
流速 0.5 mL のメタノールを用いた超音波抽出 (のべ 2 時間) を行った後、シリンジ
フィルターでろ過したものを抽出溶液とした (シプロコナゾールの測定で調製したも
のを使用)。

- ・抽出溶液のうち 1.6 mL を、75 mg の Z-Sep+が入ったチューブを用いた分散型固相抽出
により精製し、下記の移動相に再溶解したものを HPLC 分析に供した。
- ・下記の条件による HPLC 分析によりイミダクロプリドを定量した。

カラム Kinetex C18 (粒子径 : 2.6 μm 、直径 3 mm、長さ 100 mm)

移動相 アセトニトリル : 水 = 20 : 80

*分析対象成分の溶出後アセトニトリル : 水 = 90 : 10 を用いてカラム洗浄
流 速 0.5 mL/min

検 出 270 nm (UV 検出)

- ・イミダクロプリドの定量値と分析用試料の密度から吸収量 (kg/m^3) を算出した

③ DDAC

- ・分析用試料 1 g に対し、40 mL のギ酸-メタノール溶液 (3 : 100、v/v) を用いた超音波抽
出 (のべ 3 時間) を行った後、シリンジフィルターでろ過したものを抽出溶液とした。
- ・抽出溶液のうち 1 mL を水 (40 mL) と酢酸緩衝液 (100 mM、pH 3.5) と混合した後、分液
ロートに移し、さらにオレンジ II 水溶液 3 mL、過飽和食塩水 5 mL およびクロロホルムを
加えた後、5 分間振とうさせた。
- ・振とう後 1 時間静置したのち、回収したクロロホルム相を分光分析に供し、485 nm にお
ける吸光度を測定することで DDAC を定量した。
- ・DDAC の定量値と分析用試料の密度から吸収量 (kg/m^3) を算出した。

⑤ BKC

DDAC に同じ (ただし DDAC とあるところを BKC に読み替える)。

⑥ 銅

- ・分析用試料 1 g を 300 mL 容試験管に移し、これに過酸化水素水 20 mL と硫酸 2 mL を添
加したのち加熱することで分析用試料を分解した。
- ・約 2 mL になるまで濃縮した試験管内の内容物を、試験管の内壁を水で洗いながら 250 mL の
全量フラスコに移し、水で定容としたものを試験溶液とした。
- ・試験溶液のうち 5 mL を 50 mL の全量フラスコに移し、硫酸水溶液 (濃硫酸 : 水 = 1 : 124、
v/v) で定容したものを原子吸光光度計に供し、銅を定量した。
- ・銅の定量値と分析用試料の密度から吸収量 (kg/m^3) を算出した。

⑦ ほう素

- ・分析用試料 1 g を石英ガラス製の 300 mL 容試験管に移し、過酸化水素水 15 mL、硫酸 2

- mL およびりん酸 2 mL を添加した後加熱することで分析用試料を分解した。
- ・硫酸白煙が発生するまで濃縮した試験管内の内容物を、試験管の内壁を水で洗いながら 250 mL の全量フラスコに移し、水で定容としたものを試験溶液とした。
 - ・試験溶液 2 mL を 25 mL の全量フラスコに移し、塩酸 3 滴、硫酸第 1 鉄溶液 3 滴及び硫酸 10 mL を加えて混合した後、カルミン酸溶液 10 mL を加えて混合した。
 - ・次に、硫酸で定容とし、45 分間室温で放置したものを分光分析に供し、波長 600 nm における吸光度を測定することでほう素を定量した。
 - ・ほう素の定量値と分析用試料の密度から吸収量 (kg/m^3) を算出した。

2.3 ファンガスセラータ験

腐朽槽には、寸法 741×516×490 mm および 626×426×365 mm のプラスチック製容器 (S 型コンテナ、積水テクノ成型) を用いた。腐朽槽の最下層に砂利を敷いた後、既報¹⁾を参考にして、林産試験場内の屋外暴露試験地の土壌、鹿沼土、バーミキュライトの混合物 (体積比 6:2:2) を投入した。ファンガスセラータ験は、温度 26°C の恒温室内で行い、試験体の耐候操作を行わずに腐朽槽に設置した (図 1)。暴露中の乾燥を防ぐため、試験体を設置した腐朽槽はビニールシートを用いて覆った。

腐朽被害度の測定には、表 3 に示す 6 段階の目視等級表を用いた。12 か月目までは 1 か月ごとに測定を行い、その後 24 か月経過までは 2 か月経過ごとに測定を行った。評価は 3 名で行い、3 人の測定結果の中央値を各試験体の腐朽被害度とした。



図 1 腐朽槽に試験体を設置した様子

表 3 腐朽被害度の等級表

等級	評価基準	備考
0	健全	腐朽なし
1	部分的に軽度の腐朽	接触面の一部に浅い腐朽 (5mm以内)
2	広範囲に軽度の腐朽	広範囲 (50%以上)
3	2の状態+部分的に激しい腐朽	接触面の一部に深い腐朽 (5mm以上)
4	広範囲に激しい腐朽	広範囲 (50%以上)
5	腐朽によって形が崩れる	端が崩れる、著しく変形する

2.4 腐朽源ユニットを用いた耐朽性評価試験

暴露前の耐候操作として、水浸漬処理を行った (図 2)。浸漬容器には、プラスチック製の容器 (寸法: 550×260×180 mm) を用い、試験体の体積に対して 2 倍量のイオン交換水を用いた。浸漬時間は、事故的な水掛かりを考慮した調整係数を算出する際に使用されている処理内容を参考にして 72 時間と設定した²⁻⁴⁾。耐候操作後、60℃のオーブンにて 1 週間乾燥させた後、温度 20℃、相対湿度 65%の恒温恒湿室にて、おおよそ耐候操作前の質量に戻るまで養生した。

強制腐朽処理には、褐色腐朽菌のオオウズラタケ (*Fomitopsis palustris*, FFPRI 0507) を用いた。ガス滅菌したポリプロピレン製の容器 (寸法: 219×219×55 mm, S27、アズワン) に、オートクレーブを用いて滅菌したポテトデキストロース寒天培地 (PDA 培地、ニッスイ) を 700 mL 加えた。この容器内に、スギ辺材 (10×10×1000 mm, 3 本) とともに菌を接種し、10 日間培養した (以下、腐朽源ユニットと記す)。このとき接種したオオウズラタケは、プラスチックシャーレ内の PDA 培地上で約 1 週間培養したものをを用いた。試験体は、プラスチック製のメッシュを介して腐朽源ユニットに取り付け、乾燥を防ぐためにビニール袋に入れた (図 3)。通気には、シリコセン (C-40、アズワン) を用いた。腐朽源ユニットを取り付けた試験体は、塩化カリウムの飽和塩溶液とともにバックルコンテナに入れ (湿度 70~80%RH)、26℃の恒温室内にて静置した。暴露 6 か月経過後に試験体を取り出し、試験体表面に張り付いた菌糸を取り除いた後、表 3 の劣化等級表を用いて目視評価を実施した。ファンガスセラー試験と異なり、腐朽の有無は明確に判断できたため、目視評価は、1 名のみで実施した。目視評価後、温度 20℃、相対湿度 65%の恒温恒湿室にて調湿後、X 線 CT 装置 (inspeXio SMX-225CT、島津製作所) を用いて試験体内部を観察した。観察条件は、管電圧 120kV、管電流 90 μ A とした。

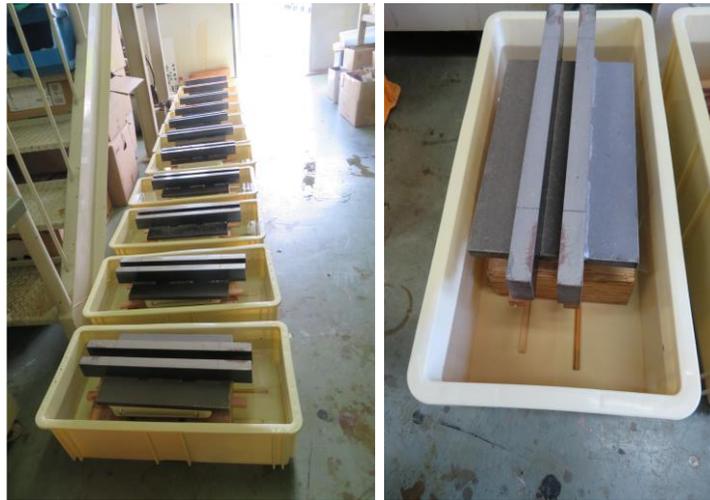


図2 耐候操作（水浸漬72時間）の様子

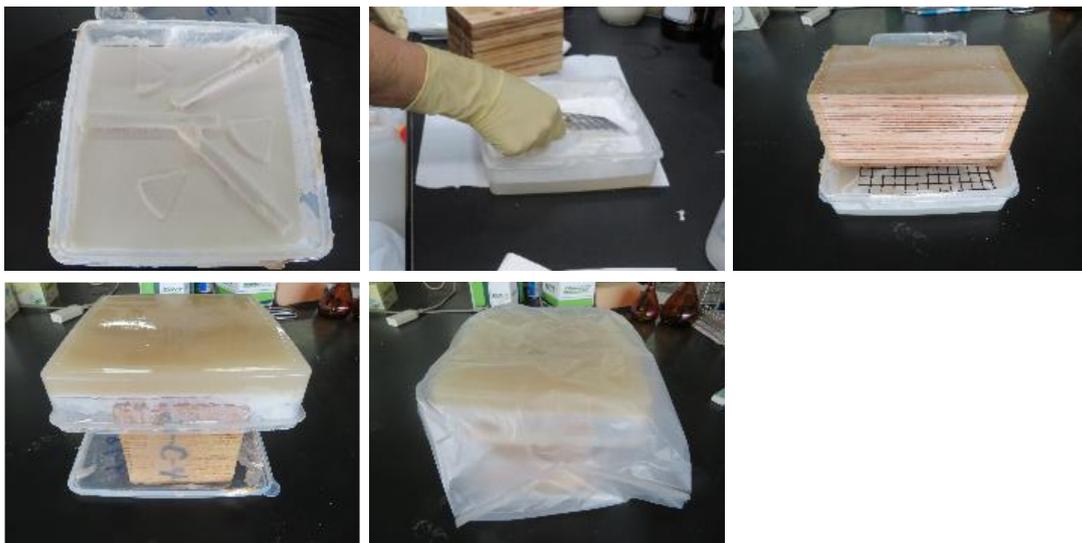


図3 腐朽源ユニットを取り付けた試験体の様子

3. 結果

3.1 浸潤度と吸収量

3.1.1 BAACで処理したLVLの結果

BAACを用いて単板処理で行ったスギLVL（試験体A01、A03、A04）の浸潤度を図4に示す。これらの試験体は全断面60%以上の浸潤度を目標に処理を行った試験体であるが、いずれも基準を満たしていた（図4（右））。なお、全断面60%以上の浸潤度を目標にした場合は、同時に表層10mmの80%以上の達成を目標としているが、生単板の状態で行ったA01の表層10mmの浸潤度は平均で60%程度であり、80%を満たさなかった。一方、乾燥単板に対して処理を行ったA03とA04の表層10mmの浸潤度は80%も満たしていた。また、A03と

A04 全断面に対する浸潤度は同程度で A01 よりも高く、表層 10 mm で 80% 以上の浸潤度を得るためには、乾燥単板に処理を行うことが望ましいと考えられる。

試験体 A01、A03、A04 の吸収量の測定結果を図 5 に示す。BAAC の有効成分は DDAC およびほう素化合物であるが、JIS K 1570 : 2010⁸⁾ によれば、その組成比は概ね 3 : 1 (w/w) である。各試験体の吸収量の測定結果における DDAC とほう素化合物の比率は概ねこの組成比を反映していた。LVL の JAS における BAAC の吸収量は DDAC とほう素化合物の合計値で規定されているが、すべての試験体で K3 の基準値以上であった。また、吸収量の測定に用いた試験片は表層 10 mm の範囲から採取されたものであり、試験体間の吸収量の大小関係は概ね浸潤度のそれと一致していた。

3.1.2 AZN で処理した LVL の結果

AZN で処理（製品処理）されたラジアータパイン LVL の浸潤度は、表層 10 mm の 80% 以上を目標として処理した試験体 A05、全断面 60% を目標として処理した試験体 A06 のいずれも、設定した基準を超えていた（図 6）。全断面を対象とした浸潤度はいずれの試験体も高く、表層 10 mm の 80% 以上を目標とした試験体 A05 の平均浸潤度は 85% を超えていた。

試験体 A06 の吸収量は K3 の基準値を上回っていたが、A05 は基準値を下回っていた（図 7）。JIS K 1570 によれば、AZN のシプロコナゾールとイミダクロプリドの組成比は 6 : 4 ~ 7 : 3 (w/w) であるが、吸収量の測定結果については、シプロコナゾールの比率がやや高い傾向にあった。

3.1.3 CYBI で処理した LVL の結果

深浸潤処理（薬剤：CYBI、製品処理）を行った LVL の試験体（A07~A12）の浸潤度を図 8 に示す。これらのうち試験体 A07、A08 はスギ LVL、A09、A10 はカラマツ LVL、A11、A12 はラジアータパイン LVL で、それぞれ奇数番号が表層 10 mm の 80%、偶数番号が全断面 60% の浸潤度基準を目標として処理を行ったものである。表層 10 mm における浸潤度は、A11 で 80% を下回る試験体があり、その結果、平均値が 80% を下回ったが、その他の試験体の浸潤度は 80% 以上であった。一方、全断面 60% を目標とした A08、A10、A12 のうち A12 の試験体はその基準を満たさなかった。A11 と A12 はラジアータパインを基材とするものであり、難浸透性の心材を持つカラマツを基材とする LVL（A09、A10）では、表層 10 mm の 80% および全断面の 60% を超えていた。

CYBI の吸収量基準は AQ 認証で規定されているが、AQ 認証ではシプロコナゾールとビフェントリンそれぞれの基準値が規定されている。各試験体の吸収量の平均値をこれらの基準値と比較すると、試験体 A07 のシプロコナゾールとビフェントリン、試験体 A11 のビフェントリンの吸収量が基準値をやや下回っていた（図 9）。一方、カラマツ LVL である試験体 A09 と A10 は、いずれの吸収量基準も満たしていた。

3.1.4 AAC、CUAZ および CYBI で処理した集成材の結果

AAC および CUAZ で処理したスギ集成材の平均浸潤度は目標とした表層 10 mm の 80% 以上を満たしていた (図 10)。また、これらの試験体における平均吸収量は K3 の基準値を満たしていた (図 11)。一方、CYBI で処理したカラマツ集成材の平均値は浸潤度の基準値を満たさなかった (図 12)。また、スギ集成材とカラマツ集成材の両方で、シプロコナゾールとピフェントリンの平均吸収量が基準値を下回った (図 13)。

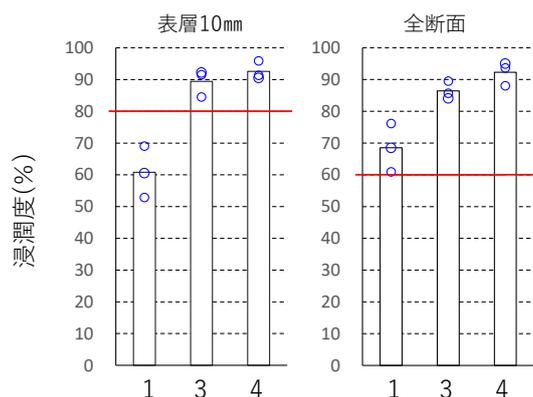


図 4 BAAC で処理された試験体 (A01、A03、A04) の浸潤度
*○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

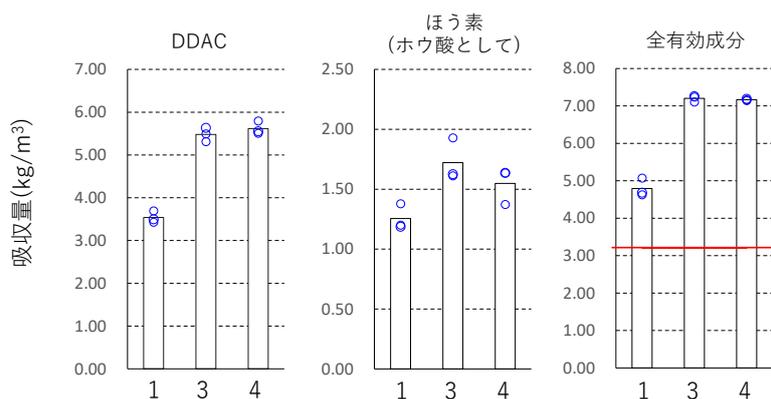


図 5 BAAC で処理された試験体 (A01、A03、A04) の吸収量
*○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す
BAAC の基準値は全有効成分の合算値で規定されているため合算値の結果を含む

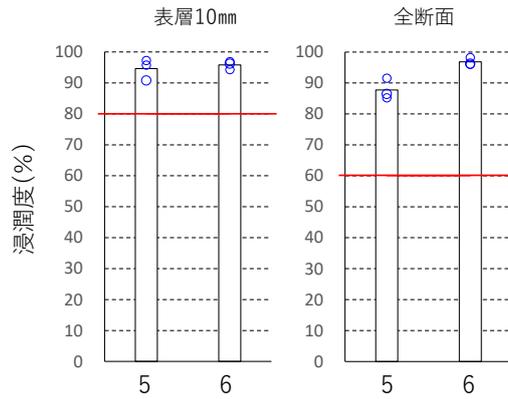


図6 AZNで処理された試験体 (A05、A06) の浸潤度
 *○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

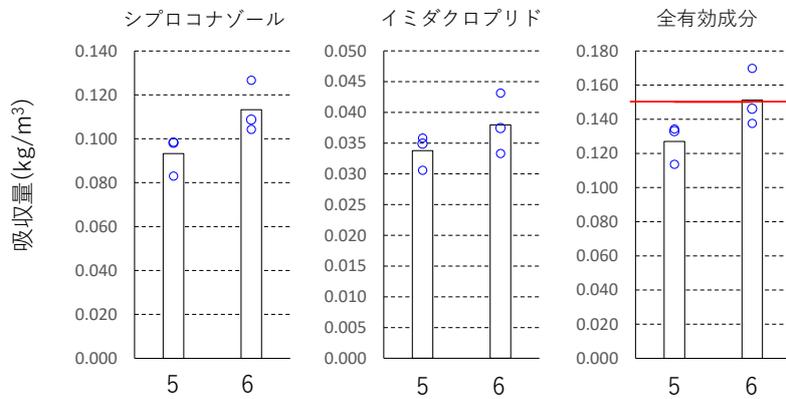


図7 AZNで処理された試験体 (A05、A06) の吸収量
 *○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す
 AZNの基準値は全有効成分の合算値で規定されているため合算値の結果を含む

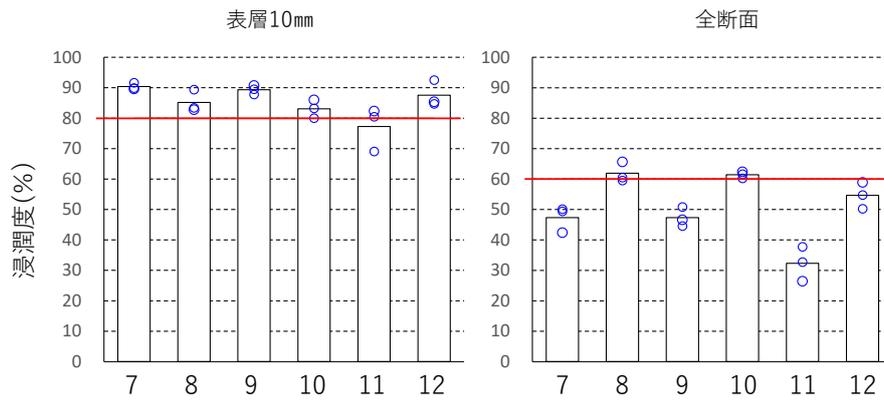


図8 CYBIで処理された試験体(A07~A12)の浸潤度
 *○は繰り返し(n=3)の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

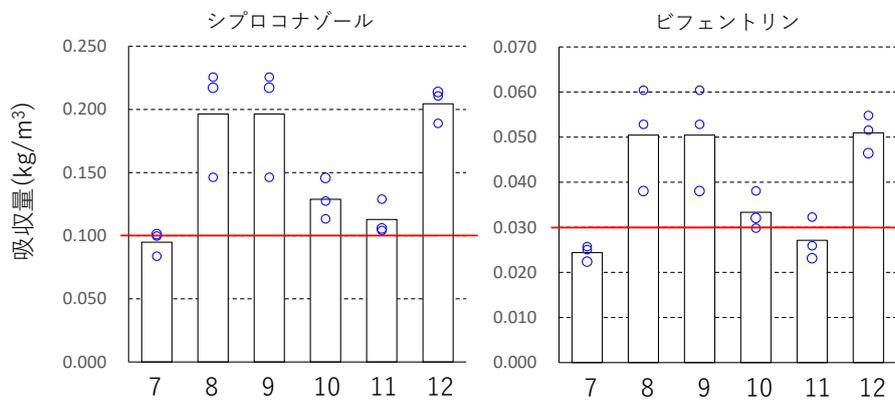


図9 CYBIで処理された試験体(A07~A12)の吸収量
 *○は繰り返し(n=3)の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

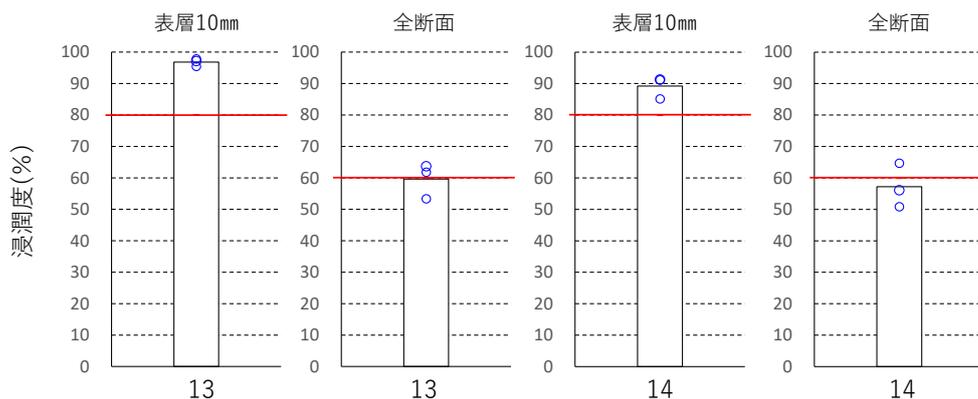


図 10 AAC で処理された試験体 (A13) と CUAZ で処理された試験体の (A14) の浸潤度
 * ○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

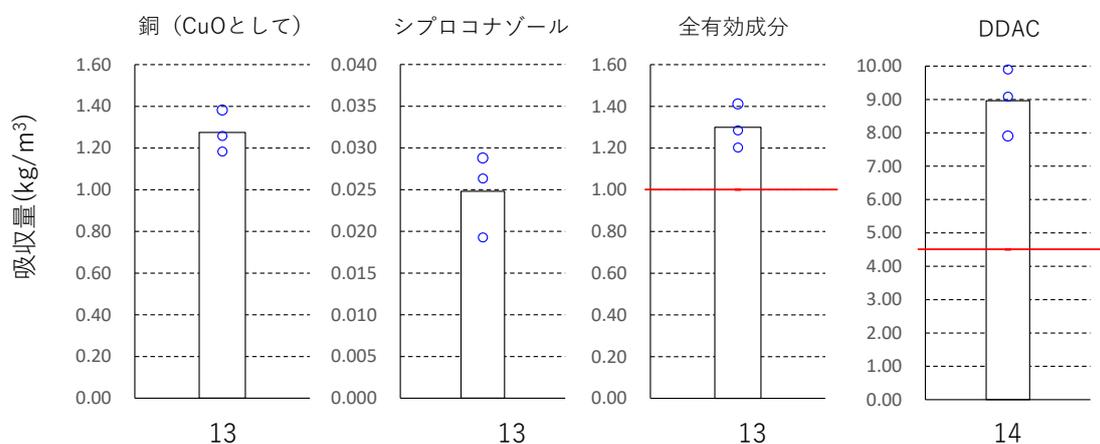


図 11 AAC で処理された試験体 (A13) と CUAZ で処理された試験体の (A14) の吸収量
 * ○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す
 CUAZ の基準値は全有効成分の合算値で規定されているため合算値の結果を含む

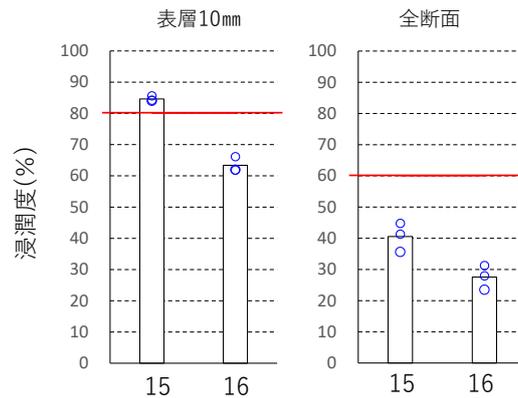


図 12 CYBI で処理された試験体 (A15、A16) の浸潤度
 * ○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

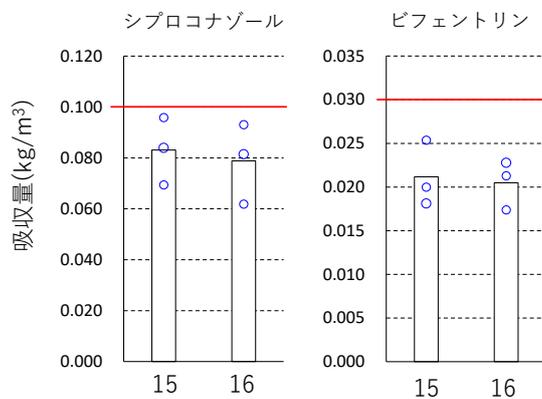


図 13 CYBI で処理された試験体 (A15、A16) の吸収量
 * ○は繰り返し (n=3) の分析結果、棒グラフは平均値、赤線は基準値を示す

3.2 ファンガスセラー試験

図 14 に、ファンガスセラー試験 24 か月間の腐朽被害度の推移を示す。無処理の集成材 (A21) については、1 年以内に等級 3 に達する試験体が観察され、24 か月経過後には、等級 5 となる試験体も存在した。無処理の LVL 試験体の中では、ラジアータパインの LVL (A19) における腐朽の進行が相対的に早く進み、24 か月後には等級 4 に達する試験体も存在した。保存処理された LVL の試験体についても、一部等級 3 に達する試験体が観察された。しかし、等級 3 に達した試験体は、どの薬剤についても、薬剤使用量を削減していない条件であること、JAS 準拠の浸潤度を満たす試験体と薬剤量を削減した試験体の腐朽被害度の推移に、明確な差異がないことから、保存処理条件緩和の影響はほとんどないと考えられた。

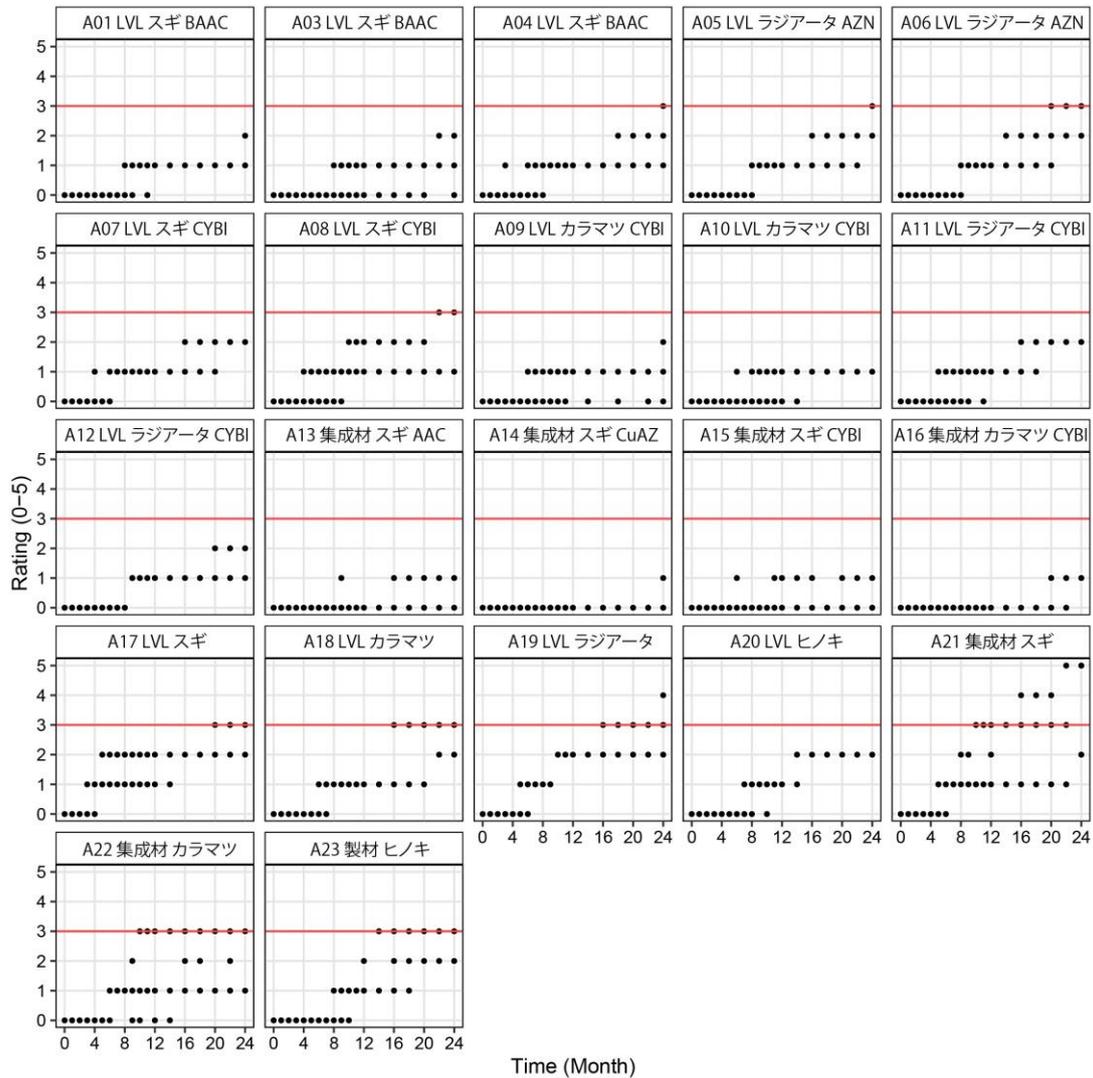


図 14 ファンガスセラー試験 24 か月間の腐朽被害度の推移
繰返し数=3 体、赤線は腐朽被害度の等級 3 を示す

3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験

表 4 に、腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理 6 か月後の腐朽被害度の等級を示す。本試験では、無処理の集成材だけでなく、現在市場で利用されている保存処理集成材と同様の保存処理条件を用いた試験体 (A14、A15、A16) を腐朽させるほどの高い負荷を与えた。無処理 LVL については、樹種による差異が顕著に表れ、ラジアータパインの LVL のみ腐朽が進行した。スギとカラマツの無処理 LVL (A17、A18) と無処理集成材 (A21、A22) を比較すると、LVL の腐朽は明らかに抑制されており、その要因として、接着剤として利用されているフェノール樹脂由来のアルカリ成分の影響が考えられた。

保存処理した LVL の試験体については、すべての条件において JAS 準拠と薬剤使用量を

削減した仕様の試験体ともに腐朽被害度の等級は 0 となり、保存処理 LVL の製造条件の違いは耐朽性に影響を及ぼさなかった。

保存処理 LVL と保存処理集成材の比較の一例として、図 15 に、保存処理 LVL と保存処理集成材（樹種：スギとカラマツ、薬剤：CYBI）の薬剤の浸潤部位と強制腐朽処理試験後の外観および試験体中央部断面の X 線 CT 像を示す。その他の条件を含め、全試験条件の外観、X 線 CT 像は、5 章の補足資料における図 17 に示した。保存処理 LVL の薬剤浸潤部位は、保存処理集成材と比較すると、表層部分に均一に分布している傾向にあり、その要因として、LVL の単板に存在する裏割れに起因する多数の空隙が、薬剤の均一な浸透に寄与したのではないかと考えられた。また、図 15 に示した試験体 A07 と A09 は、保存処理集成材と同様に試験体内部への薬剤の浸潤面積は小さいものの、腐朽は抑制されたことから、表層部分への薬剤の均質な浸潤が確保できれば、従来から使用されている保存処理集成材と同等もしくはそれ以上の耐朽性を付与できる可能性があると考えられた。

表 4 褐色腐朽菌を用いた強制腐朽処理試験 6 か月後の腐朽被害度の劣化等級

No.	材料	樹種	薬剤	備考	強制腐朽処理後 腐朽被害度 (0-5) ²⁾
A01	LVL	スギ (生単板心材)	BAAC	乾燥コスト削減タイプ	0/0/0
A03	LVL	スギ (乾燥単板心材)	BAAC	JAS 準拠	0/0/0
A04	LVL	スギ (乾燥単板辺材)	BAAC	JAS 準拠	0/0/0
A05	LVL	ラジアータパイン	AZN	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)	0/0/0
A06	LVL	ラジアータパイン	AZN	JAS 準拠	0/0/0
A07	LVL	スギ	CYBI	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)	0/0/0
A08	LVL	スギ	CYBI	新規追加希望 (JAS準拠)	0/0/0
A09	LVL	カラマツ	CYBI	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)	0/0/0
A10	LVL	カラマツ	CYBI	新規追加希望 (JAS準拠)	0/0/0
A11	LVL	ラジアータパイン	CYBI	新規追加希望 (薬剤量削減タイプ)	0/0/0
A12	LVL	ラジアータパイン	CYBI	新規追加希望 (JAS準拠)	0/0/0
A13	集成材	スギ	AAC	比較用 (AQ2種 準拠)	0/0/0
A14	集成材	スギ	CUAZ	比較用 (AQ2種 準拠)	3/0/1
A15	集成材	スギ	CYBI	比較用 (AQ2種 準拠)	4/4/1
A16	集成材	カラマツ	CYBI	比較用 (AQ2種 準拠)	4/4/3
A17	LVL	スギ	-	比較用	0/0/0
A18	LVL	カラマツ	-	比較用	1/0/0
A19	LVL	ラジアータパイン	-	比較用	4/4/4
A20	LVL	ヒノキ	-	比較用	0/0/0
A21	集成材	スギ	-	比較用	5/5/5
A22	集成材	カラマツ	-	比較用	3/4/4
A23	製材	ヒノキ	-	比較用	5/5/5

1) BAAC：ホウ素・第4級アンモニウム系、AZN：アゾール・ネオニコチノイド系、CYBI：アゾール・ピレストロイド系、AAC：第4級アンモニウム系、CUAZ：銅・アゾール系

2) 腐朽被害度：等級0（腐朽なし）、等級1（部分的に軽度の腐朽）、等級2（広範囲に軽度の腐朽）、等級3（2の状態+部分的に激しい腐朽）、等級4（広範囲に激しい腐朽）、等級5（腐朽によって形が崩れる）

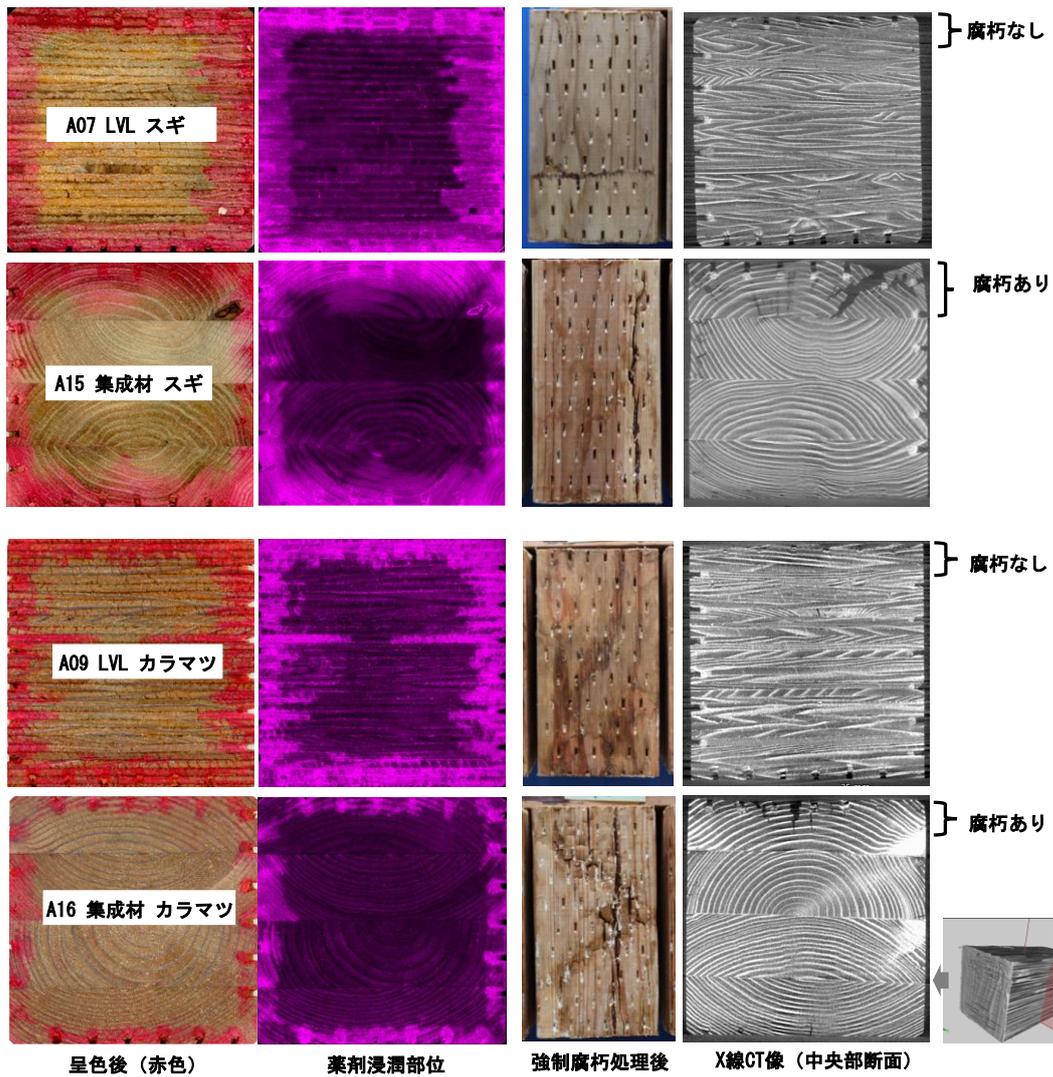


図 15 保存処理 LVL と保存処理集成材の薬剤浸潤部位および強制腐朽処理試験後の外観と断面の中央部断面の CT 画像

4. まとめ

本試験では、信頼性の高い保存処理 LVL 製品を低コストかつ効率的に製造できる環境を整備していくことを目指すために必要なデータを蓄積するため、JAS に準拠した保存処理や薬剤使用量を削減した保存処理といった、異なる条件で製造された保存処理 LVL を試験体に用いて、薬剤の浸潤度測定、吸収量測定、耐朽性評価を実施した。

ファンガスセラー試験と腐朽源ユニットを用いた耐朽性評価試験を実施した結果、現行の JAS の浸潤度基準を満たす仕様（表層 10 mm : 80%、かつ全断面 : 60%）と薬剤使用量を削減した保存処理とには、腐朽の進行に明確な差異は生じない結果が得られた。特に、建築物で腐朽事例の多い褐色腐朽菌を用いた強制腐朽処理試験では、実際の製品として利用されている保存処理集成材を腐朽させるほどの高い負荷を与えたが、保存処理 LVL については、すべての条件で腐朽が抑制された。高い耐朽性が得られた要因として、表層部分への薬剤の均一な浸透が耐朽性向上に有効に機能したと考えられ、本試験では難注入性木材であるカラマツに対しても、LVL では目標通りの浸潤度と吸収量が得られることを確認した。また、無処理の LVL は、単板に使用される樹種によって耐朽性に差異が生じる可能性が示唆されたが、無処理の集成材や製材と比較すると、耐朽性能は同等以上の結果が得られた。

5. 補足資料

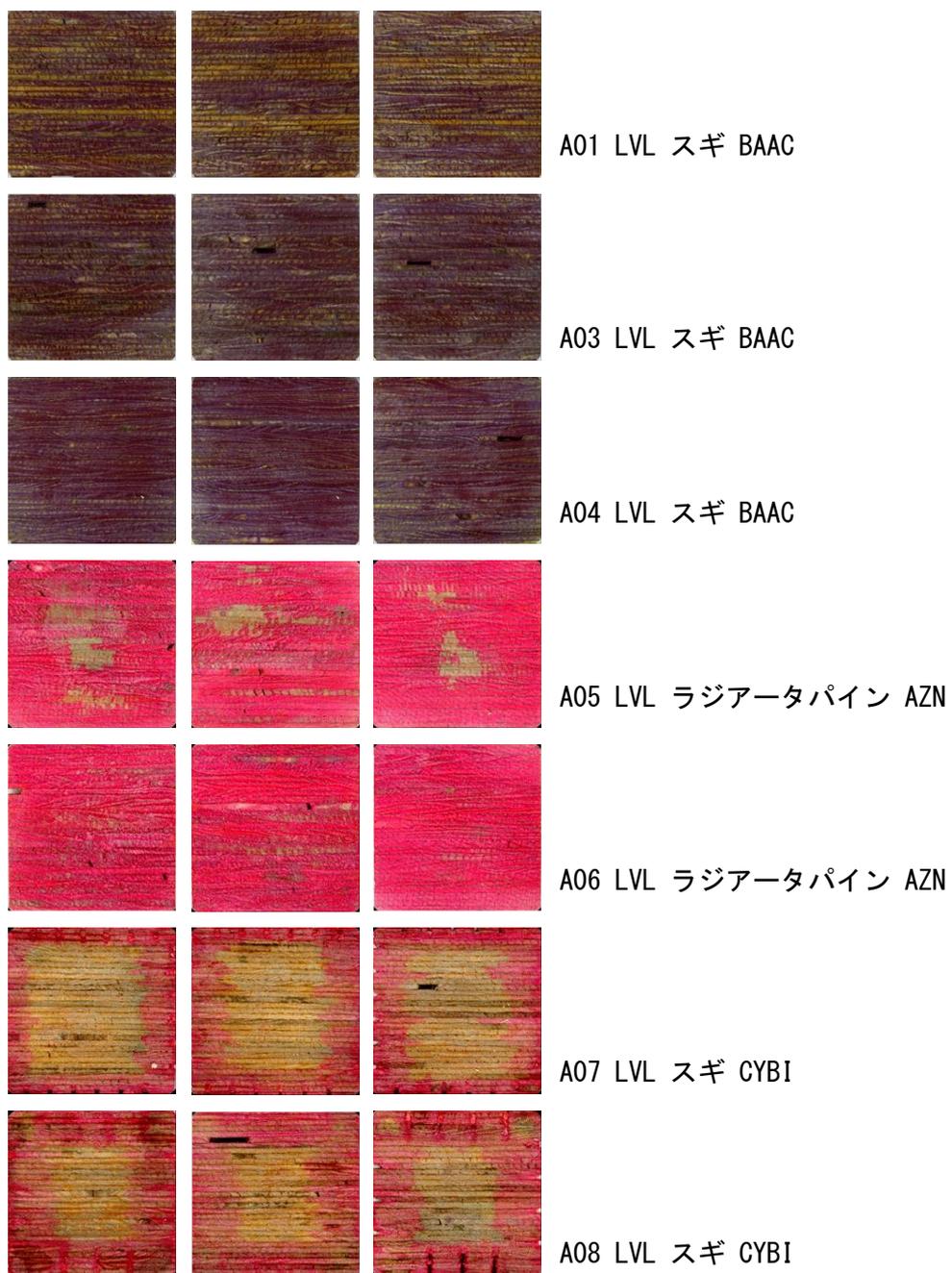


図 16-1 呈色後の試験体の断面
(3.1 浸潤度と吸収量参照)

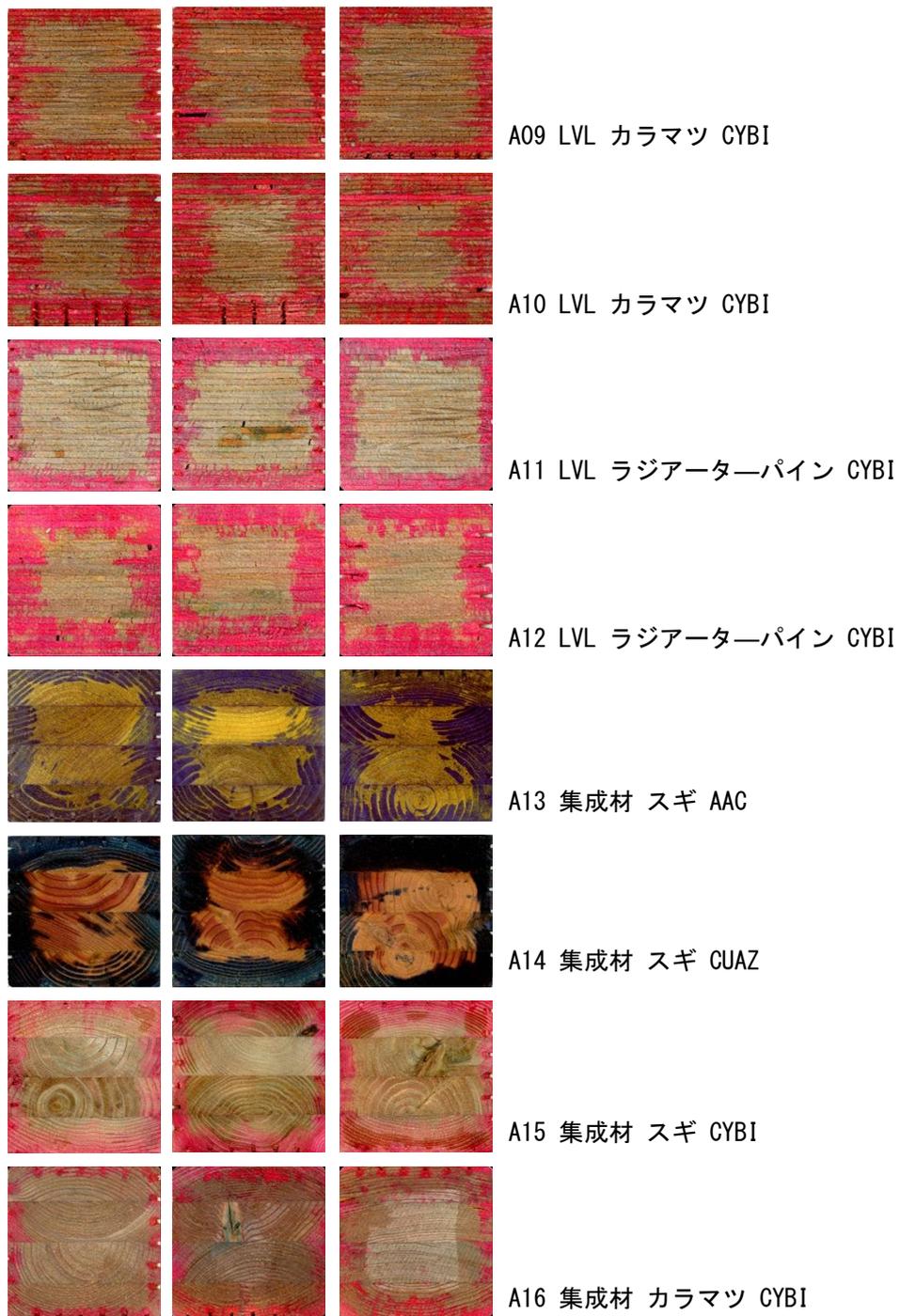


図 16-2 呈色後の試験体の断面
(3.1 浸潤度と吸収量参照)

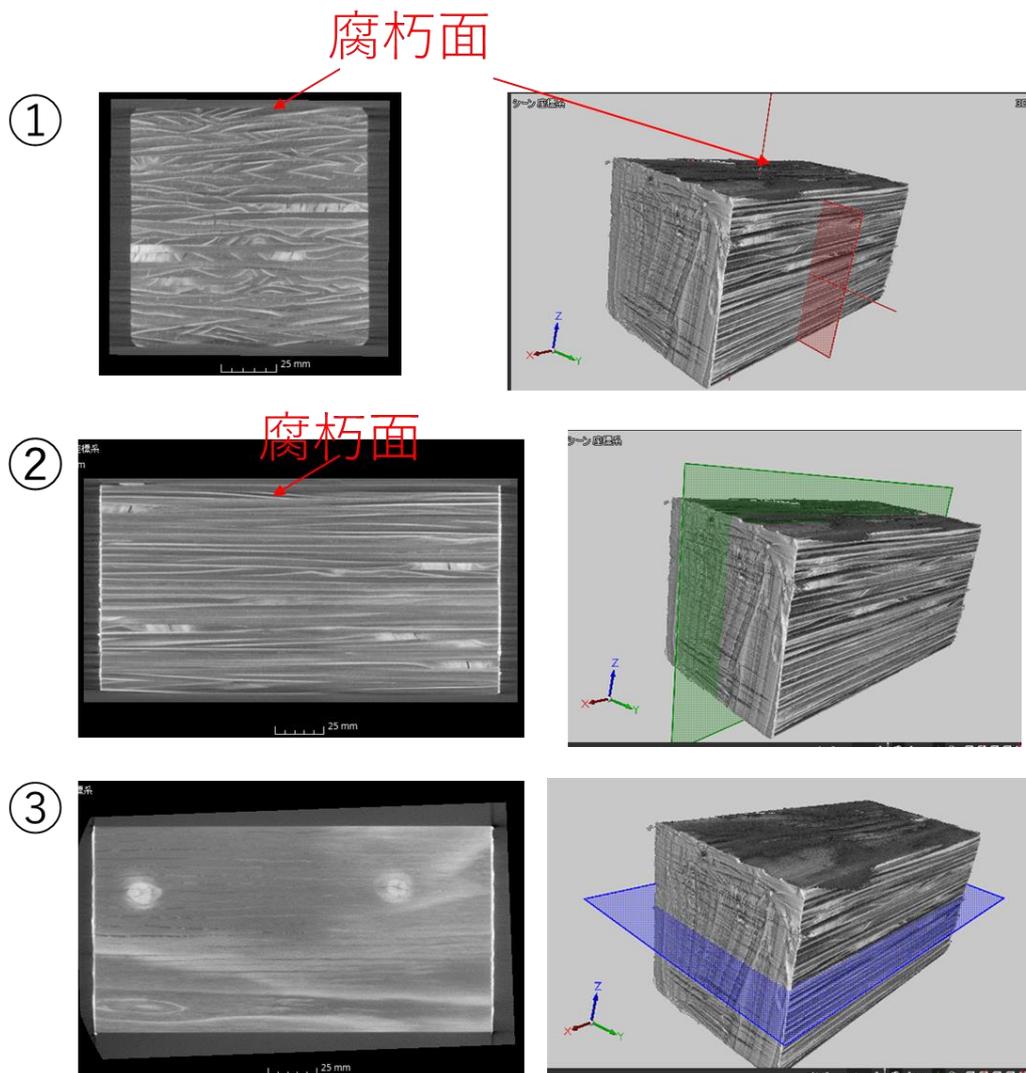


図 17-1 腐朽源ユニットによる強制腐朽処理後の X 線 CT 像の撮影部位

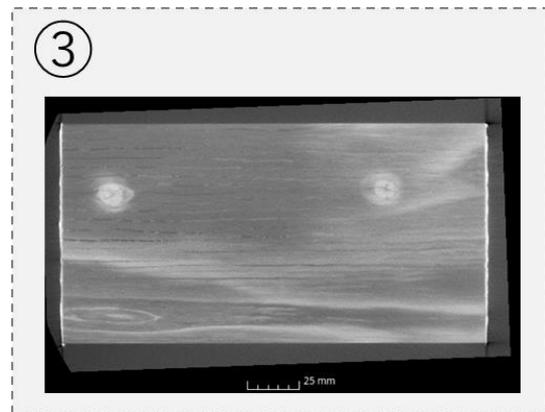
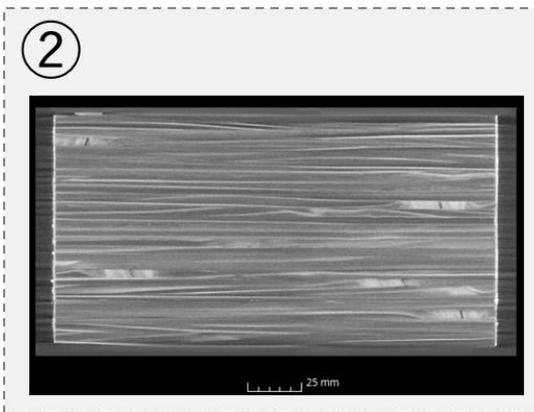
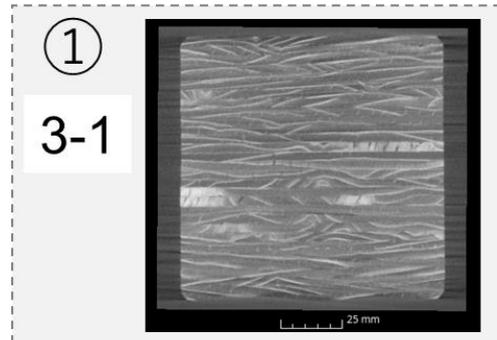
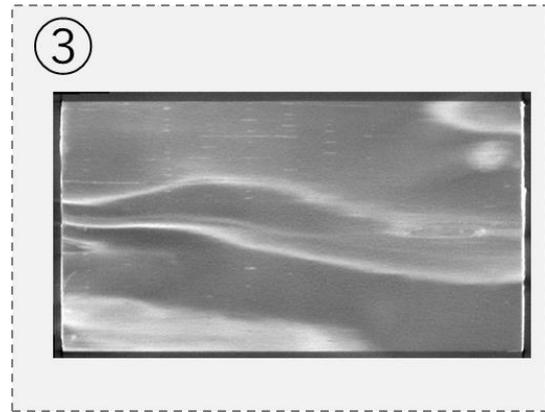
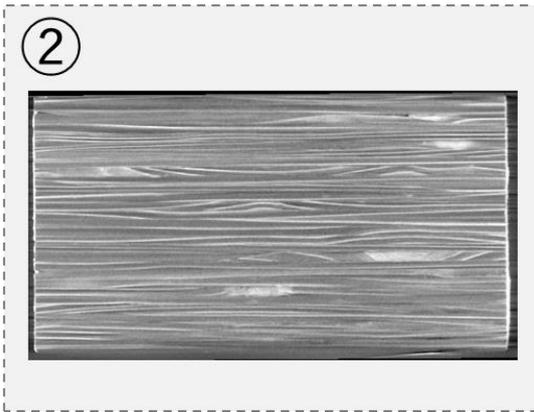
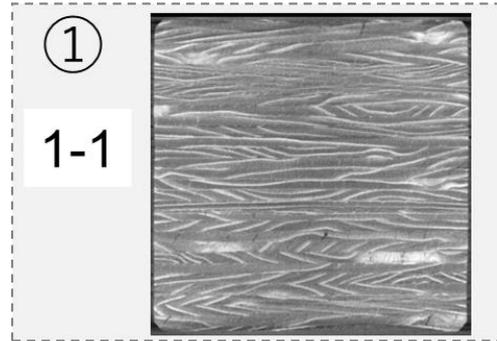


図 17-2 試験条件 A01（上段）、A03（下段）の X 線 CT 像
（3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照）

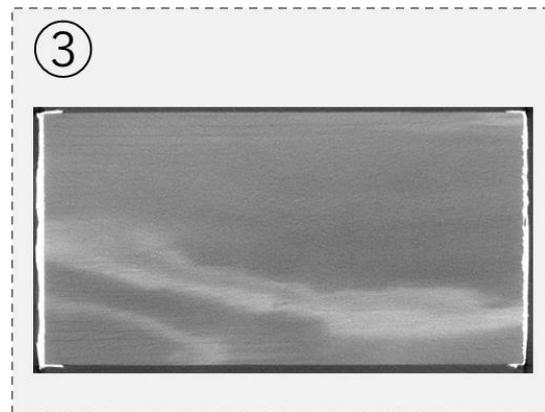
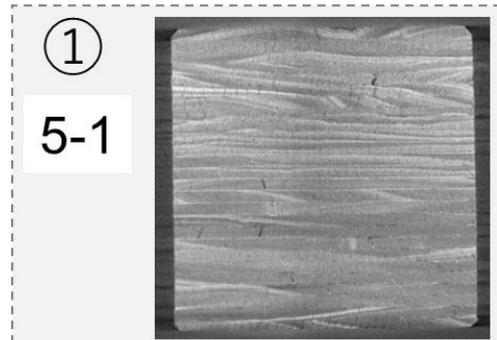
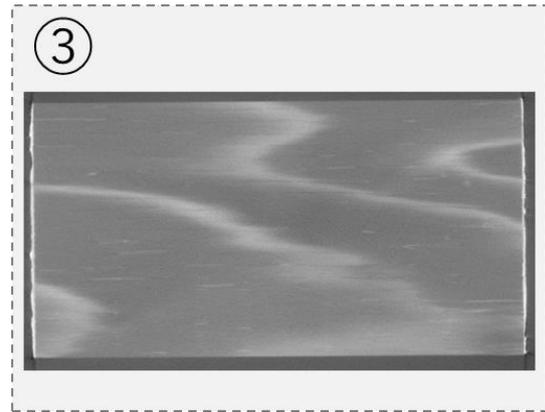
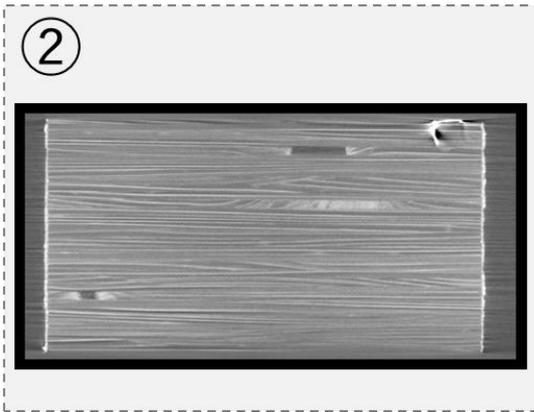
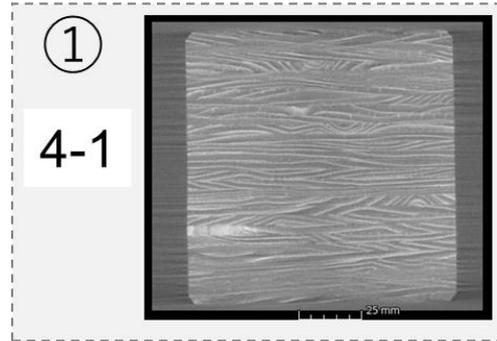


図 17-3 試験条件 A04（上段）、A05（下段）の X 線 CT 像
 （3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照）

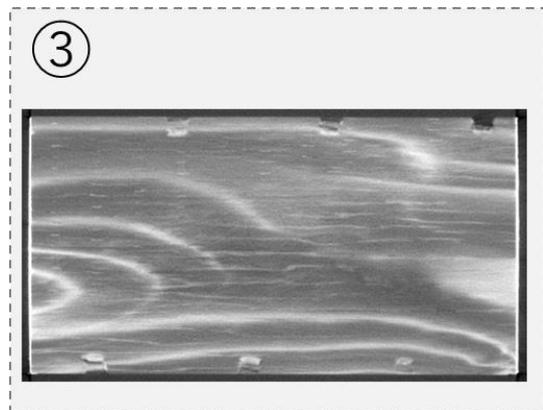
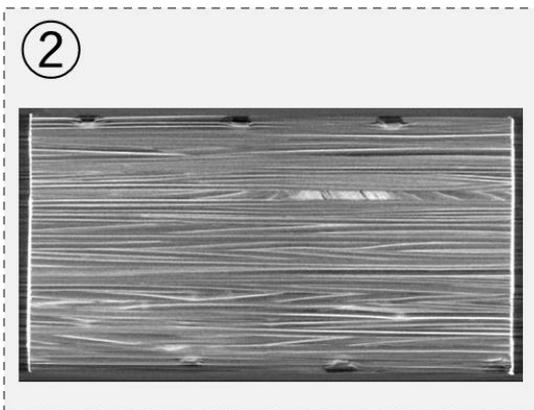
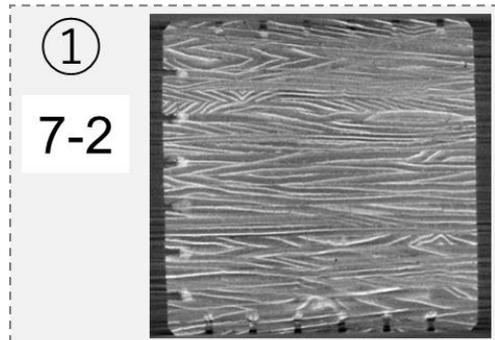
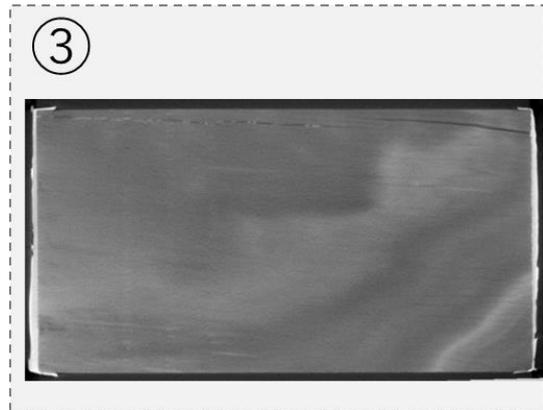
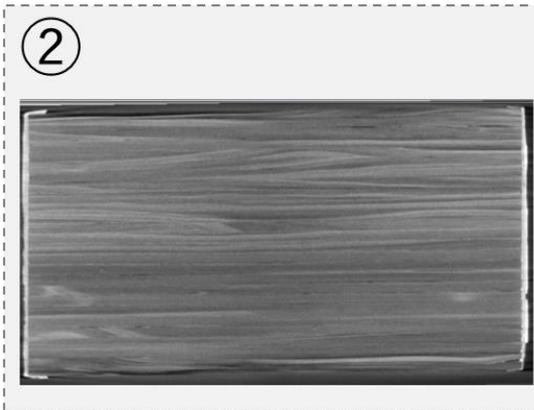
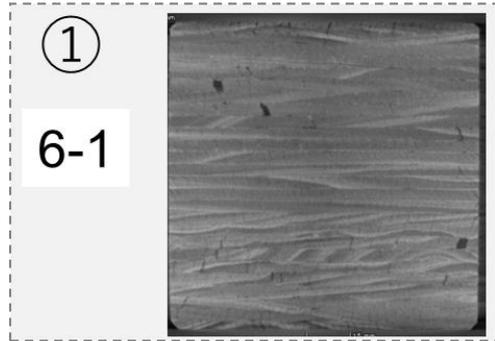


図 17-4 試験条件 A06（上段）、A07（下段）の X 線 CT 像
 (3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

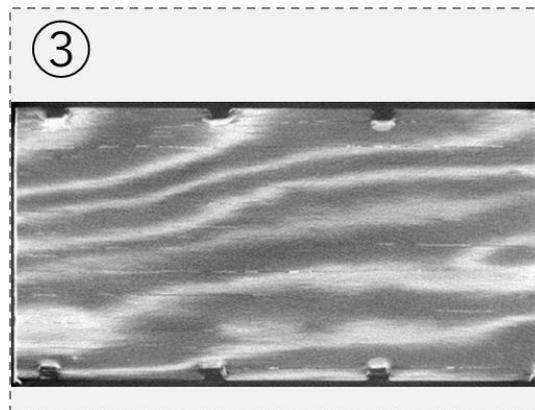
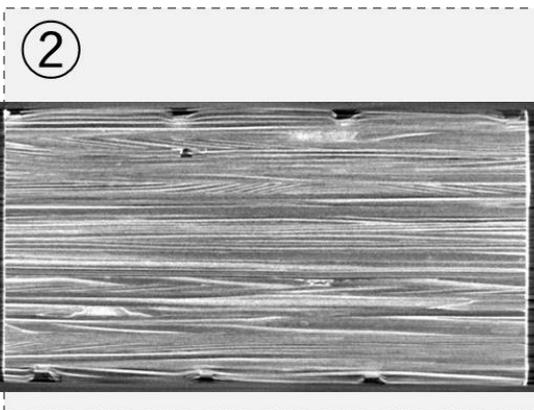
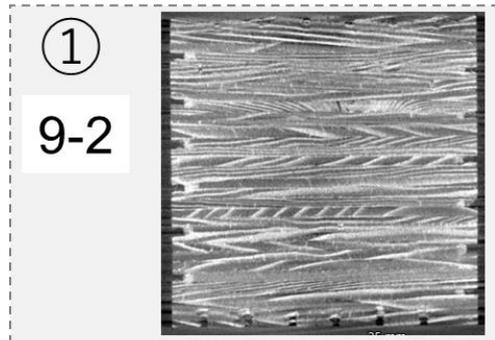
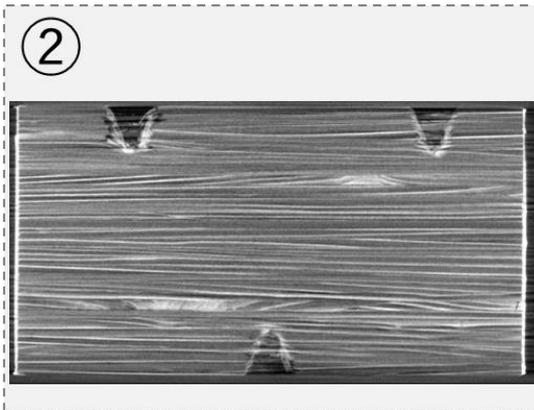
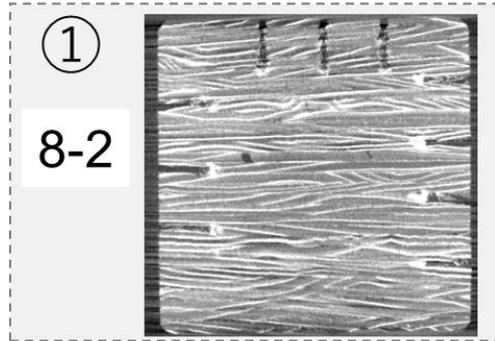


図 17-5 試験条件 A08（上段）、A09（下段）の X 線 CT 像
 (3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

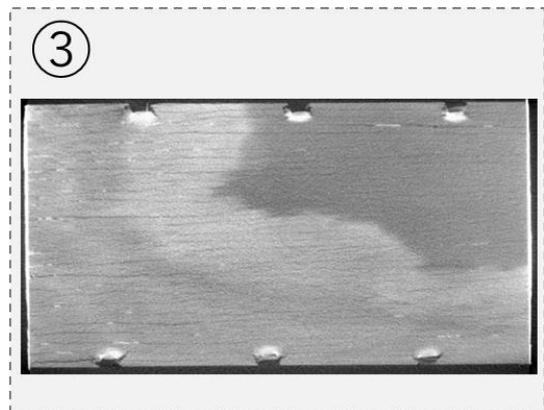
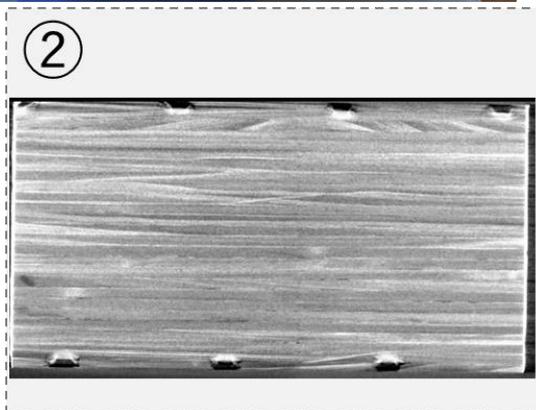
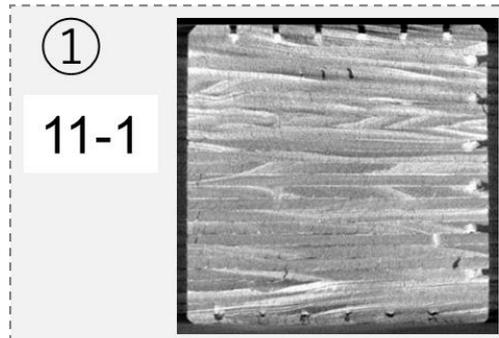
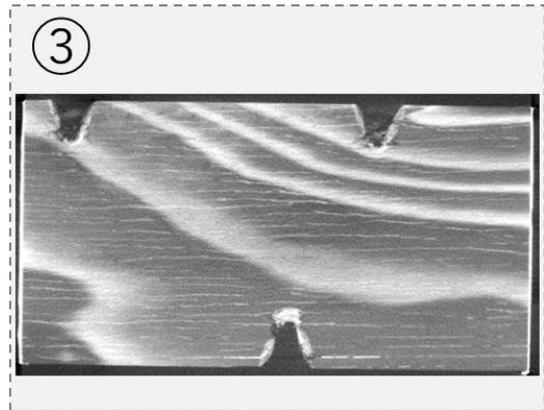
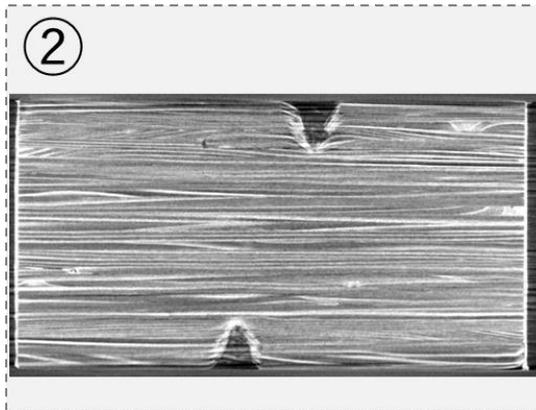
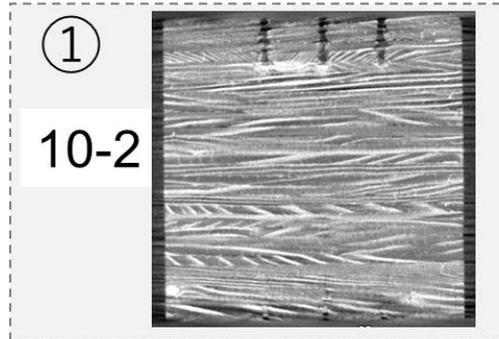


図 17-6 試験条件 A10（上段）、A11（下段）の X 線 CT 像
 （3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照）

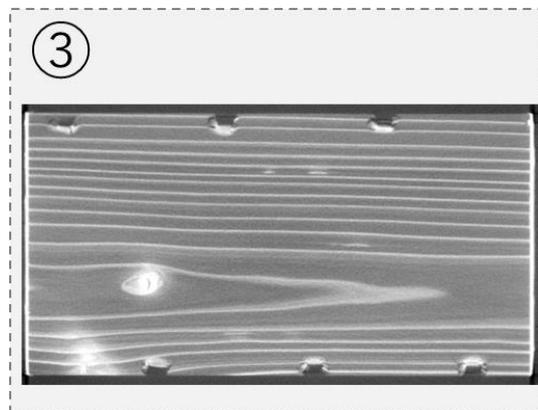
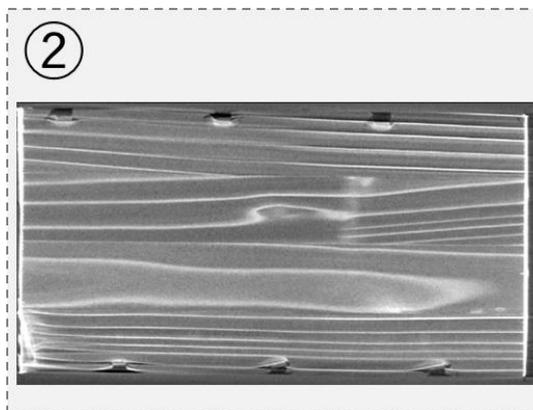
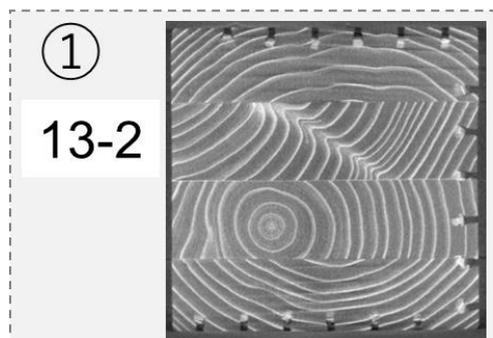
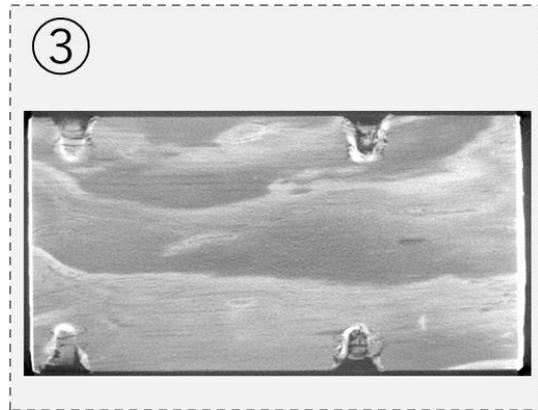
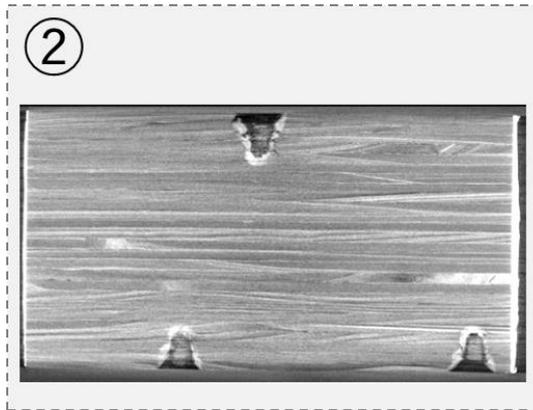
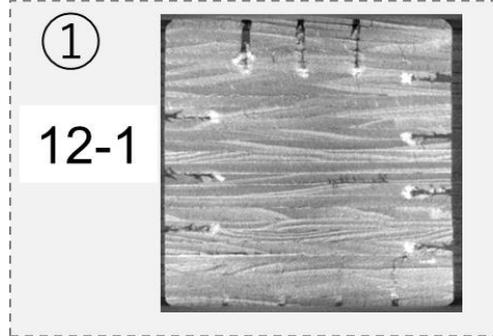


図 17-7 試験条件 A12（上段）、A13（下段）の X 線 CT 像
 (3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

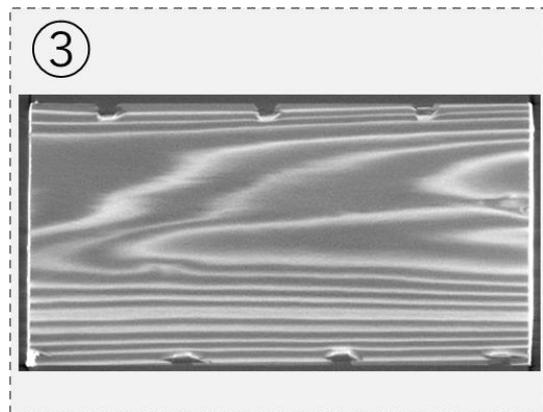
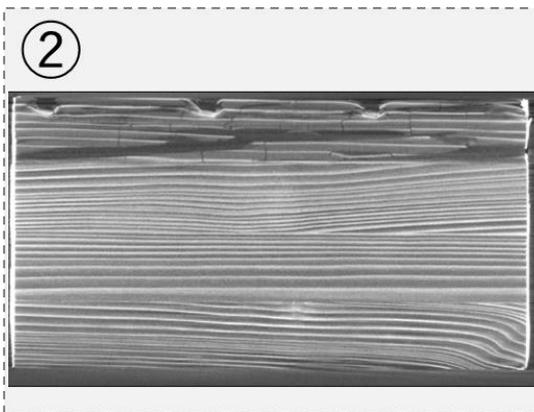
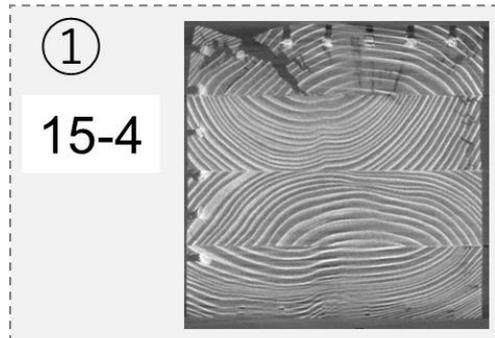
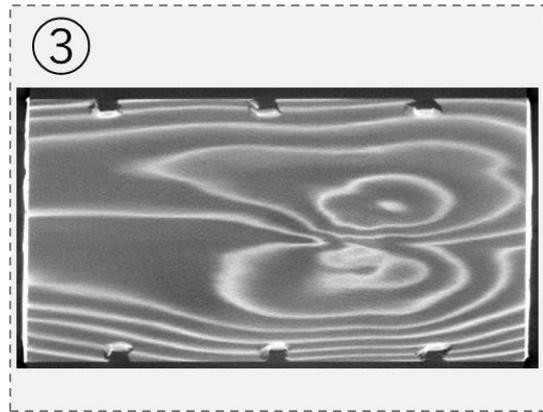
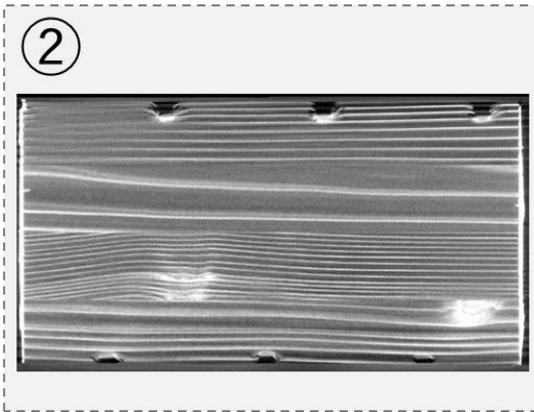
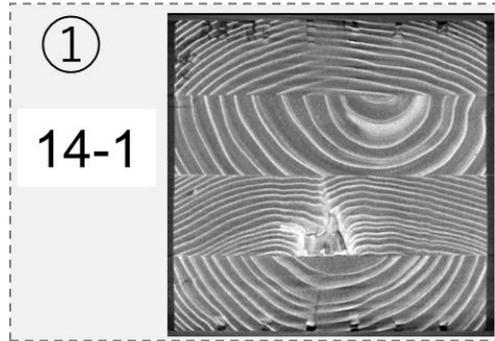


図 17-8 試験条件 A14（上段）、A15（下段）の X 線 CT 像
 (3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

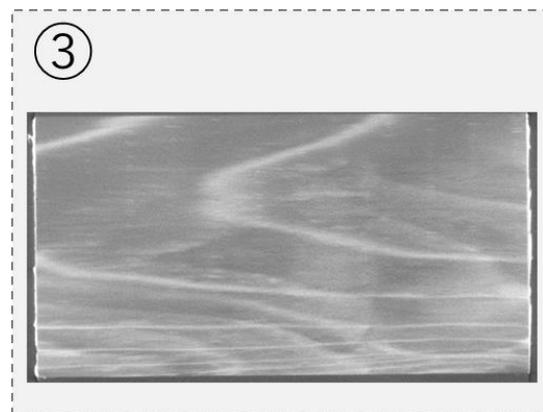
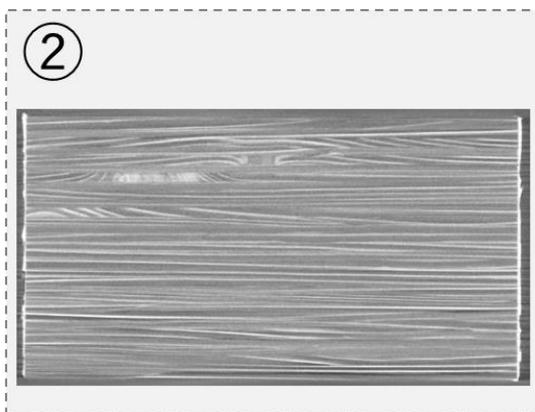
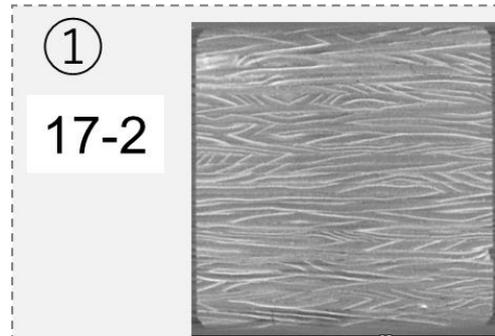
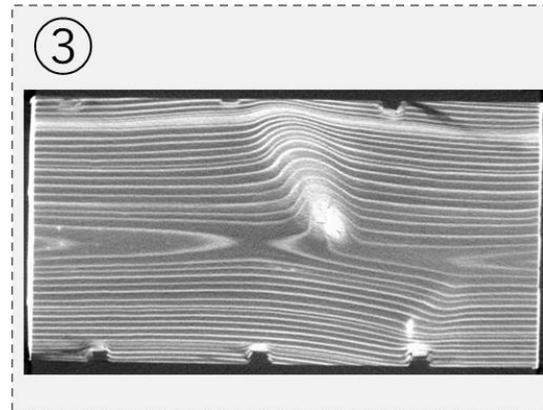
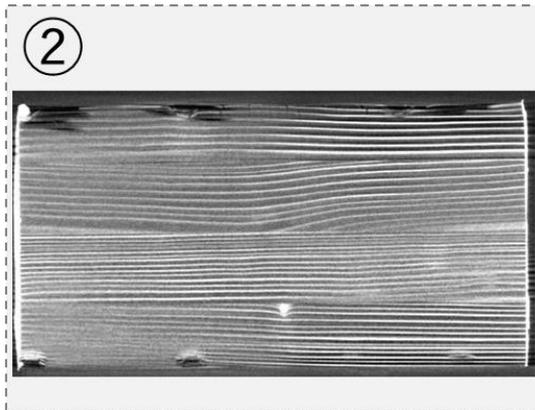
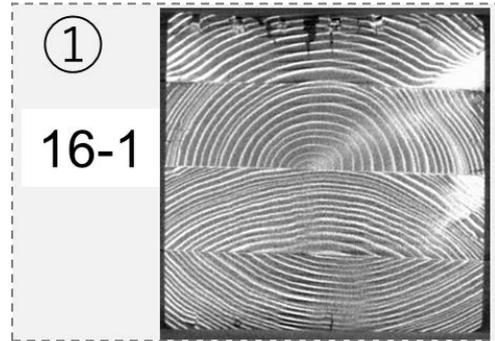


図 17-9 試験条件 A16 (上段)、A17 (下段) の X 線 CT 像
(3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

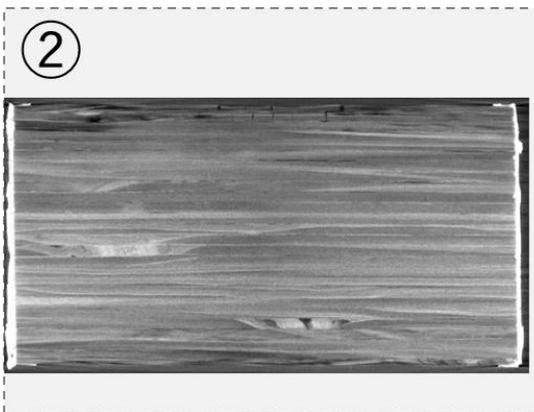
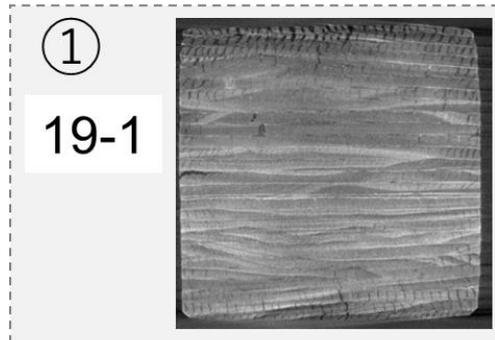
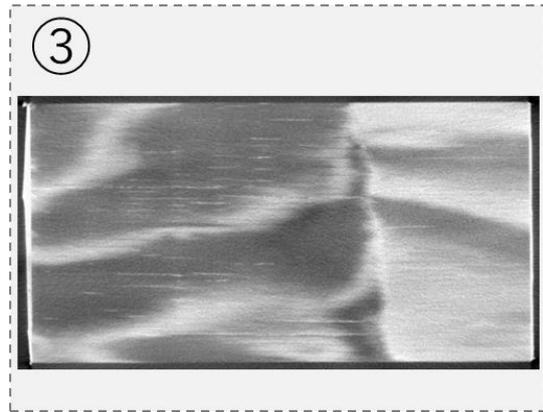
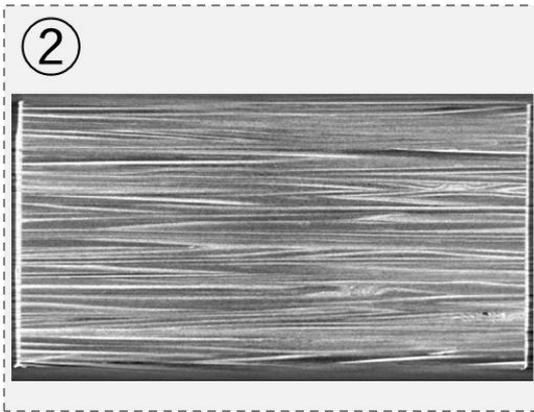
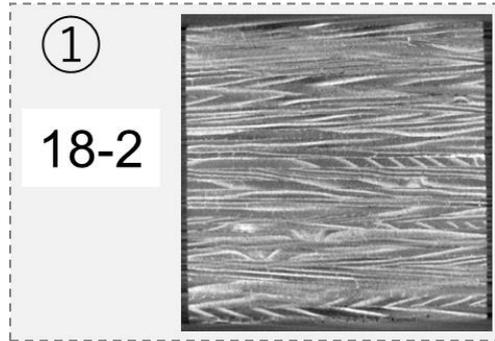
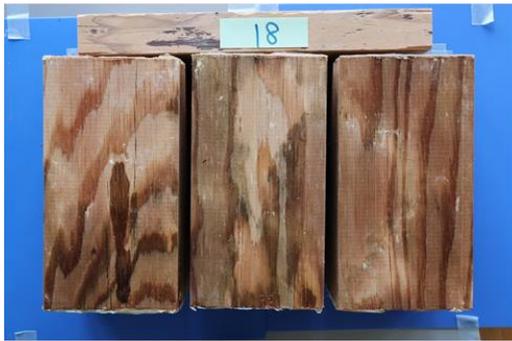


図 17-10 試験条件 A18（上段）、A19（下段）の X 線 CT 像
 （3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照）

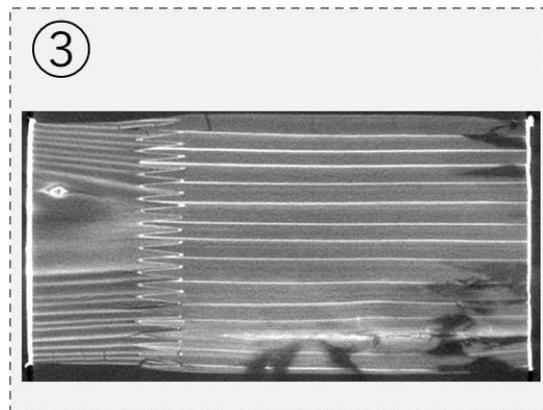
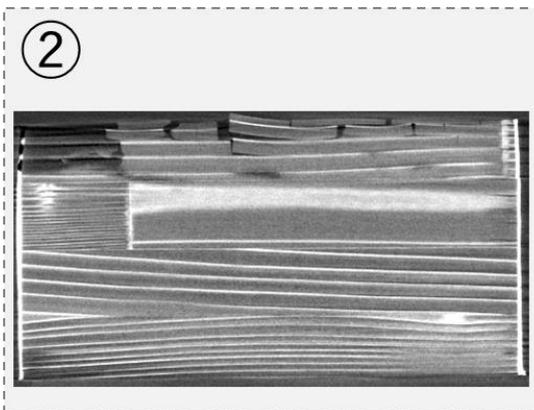
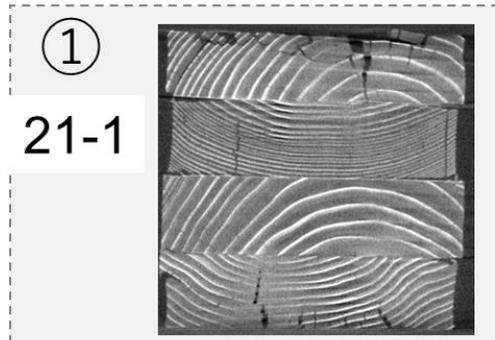
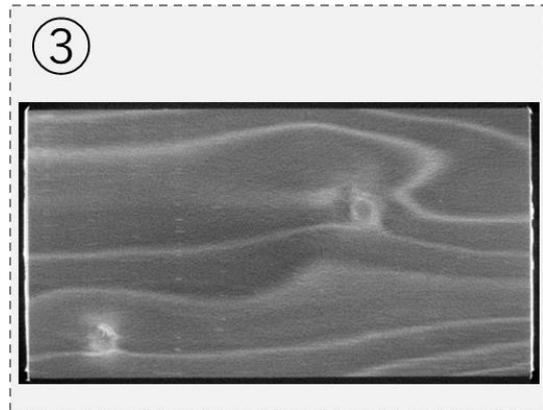
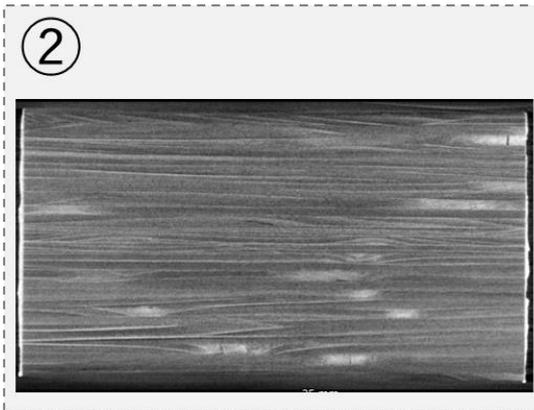
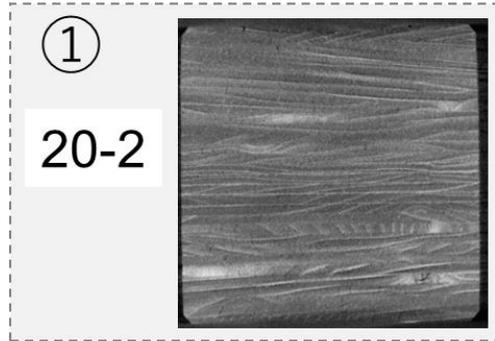


図 17-11 試験条件 A20（上段）、A21（下段）の X 線 CT 像
 （3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照）

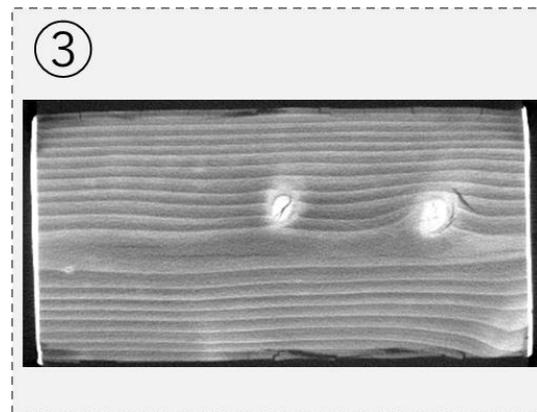
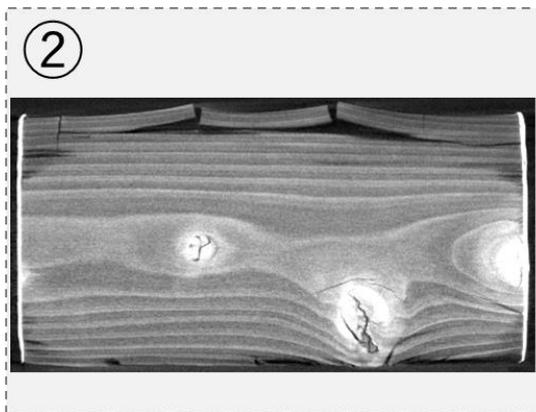
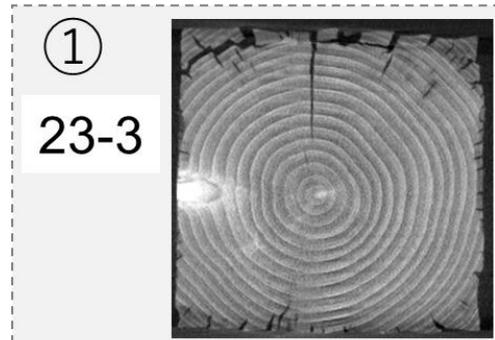
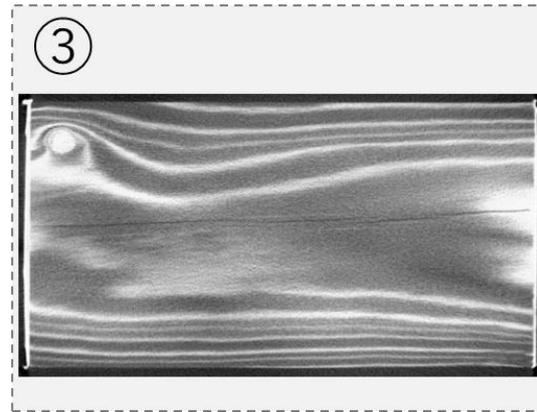
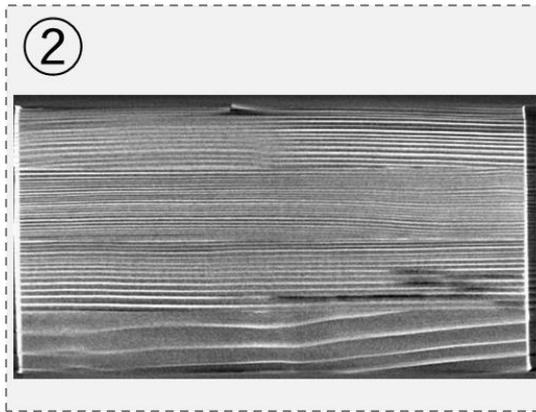
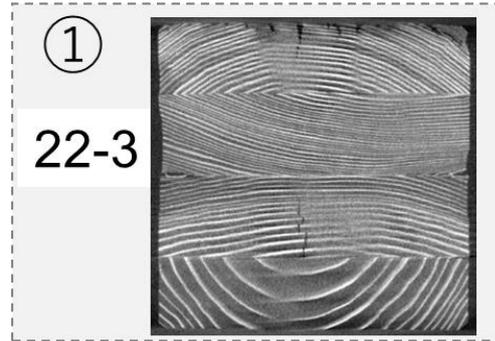


図 17-12 試験条件 A22 (上段)、A23 (下段) の X 線 CT 像
(3.3 腐朽源ユニットを用いた強制腐朽処理試験 参照)

6. 参考文献

- 1 谷川充、高耐朽性樹種のファンガスセラータ験による耐朽性評価、木材保存、32 (2)、51-59 (2006)
- 2 枠組壁工法建築物 構造計算指針、一般社団法人 日本ツーバイフォー建築協会編
- 3 古田直之ら、水掛かり処理が木質 I 形梁の力学特性に及ぼす影響 その 1、日本建築学会大会講演梗概集、2018
- 4 石原亘ら、水掛かり処理が木質 I 形梁の力学特性に及ぼす影響 その 2、日本建築学会大会講演梗概集、2018
- 5 日本農林規格 JAS 1083 : 2019 製材
- 6 日本農林規格 JAS 1152 : 2023 集成材
- 7 日本農林規格 JAS 0701 : 2023 単板積層材
- 8 日本産業規格 JIS K1570 : 2013 木材保存剤

研究担当者

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
性能部 保存グループ 主査 伊佐治信一
主査 宮内輝久
研究職員 川合慶拓
研究職員 平良尚梧