

《様式B》

研究テーマ	「木材の化学処理プロセスにおける UV レーザ加工技術の利用」		
研究責任者	所属機関名	あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター	
	官職又は役職	主任	
	氏名	野村 昌樹	メールアドレス masaki_nomura@aichi-inst.jp
共同研究者	所属機関名	あいち産業科学技術総合センター 産業技術センター	
	官職又は役職	主任研究員	
	氏名	福田 聡史	

(平成 27 年度募集) 第 28 回 助成研究 完了報告書

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1, 000 字程度)
※産業技術として実用化の可能性や特許出願 (予定も含む) の有無についてもご記載ください。

近年の申請者らの研究により、UV レーザを用いて木材表層に美観を損なうことのない微細な穿孔加工が可能であることを見出した。この技術は加工層の流体浸透性を改善し、常圧においても表層部 (板目や柾目) に選択的な薬剤処理が期待できるが、その有用性についての検証は申請者らによる予備的な事例のみである。

そこで、本研究では浸透性の異なる樹種に対し、UV レーザを用いて数パターンの穿孔密度で穴開け加工を施し、気相法および液相法で薬剤 (無水酢酸) を浸透させてアセチル化を行った。アセチル化の程度を重量増加率 (WPG)、要求性能である寸法安定性を吸水試験による抗膨潤能性 (ASE) によって評価し、化学処理プロセスにおける UV レーザ加工の有用性を検証した。

表層部のモデルとしてスギ心材、カラマツ心材、ブナ辺材板目材 (3mm 厚) を用い、穿孔密度 110, 333, 1000 個/cm² で放射方向に UV レーザ加工を行い、いずれも木材表面の美観を損なわない ϕ 30-50 μ m の貫通孔を施すことができた。

穿孔材は気相法および液相法で無触媒常圧アセチル化を行い、経時的に WPG および ASE を測定した。気相法の場合、全ての樹種において経時的な WPG および ASE は穿孔密度に依存し、穿孔加工により木材の半径方向の気体浸透性が向上することで、加工層のアセチル化が促進されることが明らかになった。本研究では時間経過に伴い無孔材と穿孔材との WPG および ASE 差が縮小しているが、これは用いた試片が小型で、木材の流体導通において支配的な繊維方向からの浸透の影響を大きく受けたことが要因と考えられる。すなわち短い反応時間におけるこ

これらの差異こそ、穿孔加工による放射方向の浸透改善効果を良く反映すると考えられ、その効果は極めて大きく、特に浸透性が不良な樹種ほど顕著であった。またスギ心材について WPG と ASE の回帰分析を行ったところ、その近似直線に高い決定係数が得られ、同じ WPG で比較した場合、穿孔密度が高いほど ASE が高い結果となった。これは穿孔加工が材内の均質な処理に寄与した可能性を示唆している。

液相法の場合、気相法とは逆に穿孔密度が高いほど WPG が低くなった。この要因としては流体導通の改善により木材成分が溶出しやすくなったことが考えられる。また、一般に液相法は気相法に比べて浸透速度が大きいいため、試片寸法が小さい本実験においては短い反応時間でも穿孔加工の優位性は確認できなかった。

浸透性が極めて不良なカラマツ心材は、他樹種に比べ WPG に応じた ASE が得られなかったため、この原因を処理の不均一性に因るものと考え、X 線 CT を用いて早晚材における WPG の算出を試みた。その結果、晩材部の WPG は早材部に比べて低い値を示した。カラマツは晩材の密度が極めて高く、さらに晩材率も比較的大きいため、晩材部の不十分な処理が ASE に影響を与えたものと考えられる。

以上のとおり木材の UV レーザ加工技術は、表面として用いる板目面や柃目面の浸透性を著しく改善し、表層選択的かつ均質な化学処理を可能にすることが示された。浸透不良な樹種や長尺材に特に有効と考えられ、アセチル化のみならずこれまでコスト面で実現されなかった様々な木材の化学処理の実用可能性が大いに期待される。現時点では特許出願予定はありません。

2. 実施内容および成果の説明 (A 4で、5 ページ以内)

1. はじめに

木材は軽量で高い強度や意匠性を備える優れた材料であるが、狂う・燃える・腐る等の欠点を持ち合わせている。業界ではこうした欠点を改良するため薬剤を用いた化学処理が試みられているが、木材へ薬剤を含浸させることは容易でなく、減圧・加圧法による強制的な薬剤含浸が一般的となっている。しかしながらこの方法は特殊な耐圧装置を必要とし、また木材の流体浸透性は繊維方向が支配的であることから、例えば通常表面として用いる板目面表層部等の選択的な処理は困難である。一方、近年の申請者らの研究により、UV レーザを用いて木材表層に美観を損なうことのない微細な穿孔加工が可能であることを見出した。この技術は加工層の流体浸透性を改善し、特殊な装置がなくとも常圧において表層部(板目や柾目)に選択的な薬剤処理が期待できるが、その有用性についての検証は申請者らによる予備的な事例のみで極めて乏しい。

そこで、本研究では浸透性の異なる樹種に対し、UV レーザを用いて数パターン of 穿孔密度で放射方向に穴開け加工を施し、気相法および液相法で薬剤(無水酢酸)を浸透させてアセチル化を行った。アセチル化の程度を重量増加率(WPG)、要求性能である寸法安定性を吸水試験による抗膨潤能性(ASE)によって評価し、化学処理プロセスにおけるUV レーザ加工の有用性を検証した。

2. 実験方法

2.1 UV レーザによる穿孔加工

試料寸法が 3(R)×30(T)×50(L)mm のスギ心材、カラマツ心材、ブナ辺材の気乾板目材に対し、ガルバノスキャナーを搭載した UV レーザ加工機 HIPPO 355QW (Spectra-Physics 製)を用いて、表 1 に示す発振条件の下、図 1 に示すパターンで放射方向に穿孔加工を施した。各試料は 50°C で真空乾燥した後、アセチル化に供した。比較のため、無孔材も同様にアセチル化した。

表 1 UV レーザ発振条件

波長 (nm)	355
パルス幅 (nsec)	12
周波数 (kHz)	5
出力 (W)	15
加工レンズ	f160 (ガルバノ)
エキスパンダ倍率	×4
照射時間 (msec)	10 (スギ、カラマツ) 15 (ブナ)

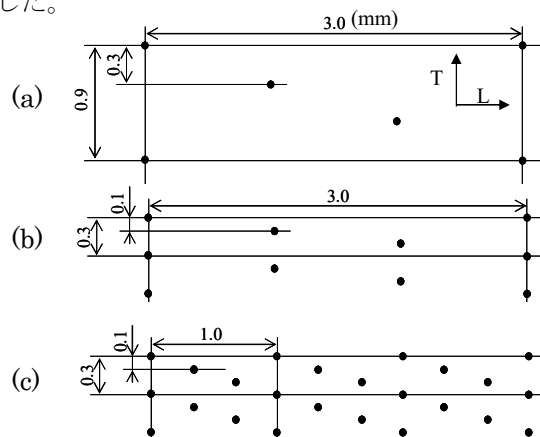


図 1 穿孔加工パターン

(a)110holes/cm², (b) 333holes/cm², (c)1000holes/cm²

2.2 アセチル化

アセチル化処理は、無水酢酸を用いた常圧かつ無触媒の気相法および液相法によった。すなわち気相法は、試料 12 個と無水酢酸 50ml が直接接しないように環流冷却管を備えた 11 容フラスコに入れ、スギの場合 20, 60, 120 分、ブナおよびカラマツの場合 60, 120, 240 分間 120°C で反応させた。液相法は試料 12 個を 500ml の無水酢酸に浸漬し、気相と同様な条件で反応させた。反応後の試料は流水中で酢酸臭がなくなるまで洗浄し、50°C で真空乾燥した後に重量増加率(WPG)を求めた。

2.3 吸水試験

吸水試験はアセチル化処理材および未処理材を 20°C の水に浸漬し、30torr、2hr の減圧、1.3MPa、22hr の加圧処理後、常圧で 72hr 静置することで飽水状態にした。吸水試験前後の放射方向および接線方向の寸法を測定することで膨潤率を求め、次式により抗膨潤能(ASE)を算出した。

$$\text{ASE} (\%) = (\text{S}_C - \text{S}_T) / \text{S}_C \times 100 \quad (\text{S}_T : \text{処理材の膨潤率}、\text{S}_C : \text{無処理材の膨潤率})$$

2.4 X線 CT を用いた早晚材 WPG の算出

試料寸法が 30(R)×30(T)×5(L)mm の密度の異なる木材 9 種 (バルサ、スギ、ヒノキ、カラマツ、ブナ、モアビ、ハードメープル、シタン、ウリン) を 50℃ で真空乾燥し、マイクロフォーカス X 線 CT inspeXio SMX-225CT (島津製作所製) により管電流 90kV、管電圧 100 μA、SID600mm、SOD230mm、I.I.size9.0inch、スケーリング係数 150 の条件で撮影した。得られた 16bit グレースケール画像から解析ソフト VGStudio MAX2.0 (Volume Graphics 製) を用いて各材料の平均輝度値を算出し、ここから空気 の平均輝度値を差引いた値と、全乾密度について回帰分析を行い近似式を得た。

また上述と同寸法のスギ心材およびカラマツ心材に対し、2.2 の気相法に従って WPG が段階的になるよう反応時間を調整してアセチル化を行った。反応前後の試料は上述と同条件で X 線 CT 撮影を行い、得られたアセチル化前後の総輝度差 (BKG 補正) と、重量増加について回帰分析を行い近似式を得た。

次にアセチル化前後の試料を X 線 CT 解析することで得られるヒストグラムのピーク (空気、早材、晩材) を垂直分割することで各領域を指定し、解析ソフトのボリュームアナライザ機能を用いて各領域の体積および平均輝度、総輝度値を求めた。得られた値は上述で導いた近似式により、アセチル化前の全乾密度およびアセチル化前後の重量増加に変換し、下式により早材および晩材における WPG を求めた。

$$\text{各部位の WPG} (\%) = (\text{W}_T - \text{W}_0) / \text{W}_0 \times 100$$

(W_T : アセチル化後の各部位の全乾重量、 W_0 : アセチル化前の各部位の全乾重量)

3. 実験結果および考察

3.1 UV レーザによる穿孔加工

図 2 に例としてカラマツ心材の UV レーザ加工板目表面を示す。いずれの樹種および穿孔密度においても穿孔径が 30-50μm 程度の貫通孔が確認され、表面の美観を損なわない加工ができた。

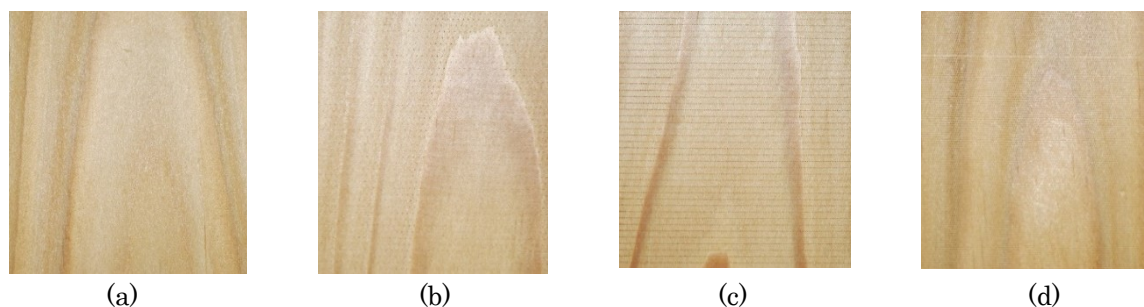


図 2 UV レーザ加工カラマツ板目表面の様子

(a)0holes/cm², (b)110holes/cm², (c)333holes/cm², (d) 1000holes/cm²

3.2 アセチル化による重量増加率

気相および液相アセチル化による WPG を図 3 に示す。気相法の場合、全ての樹種において経時的な WPG は穿孔密度に依存し、穿孔加工により木材の放射方向の気体浸透性が向上することで、加工層のアセチル化が促進されることが明らかになった。本研究では時間経過に伴い無孔材と穿孔材との WPG および ASE 差が縮小しているが、これは用いた試片が小型で、木材の流体導通において支配的な繊維方向からの浸透の影響を大きく受けたことが要因と考えられる。すなわち短い反応時間におけるこれらの差異こそ、穿孔加工による放射方向の浸透改善効果を良く反映すると考えられ、その効果は極めて大きく、特に浸透性が不良な樹種ほど顕著であった。

液相法の場合、気相法とは逆に穿孔密度が高いほど WPG が低くなる傾向を示した。穿孔加工によって浸透性が低下することは考えにくく、この要因としては流体導通の改善により木材成分が溶出しやすくなった

ことが考えられる。液相アセチル化後の穿孔材の多くは穿孔部周辺に茶褐色の溶出痕らしき滲みが見られ、この現象は前述の考察を支持する。なお、カラマツ心材において他樹種に比べ相対的に無孔材の WPG が低い理由は、液体の導通が極めて悪く、穿孔材における成分溶出が比較的少ないためと考えられる。

気相法と液相法を比較した場合、無孔材の浸透速度には大きな隔たりが認められるが、材料に穿孔加工を施すことで、気相法においても液相法における無孔材と同等レベルに浸透速度を向上できることが判明した。

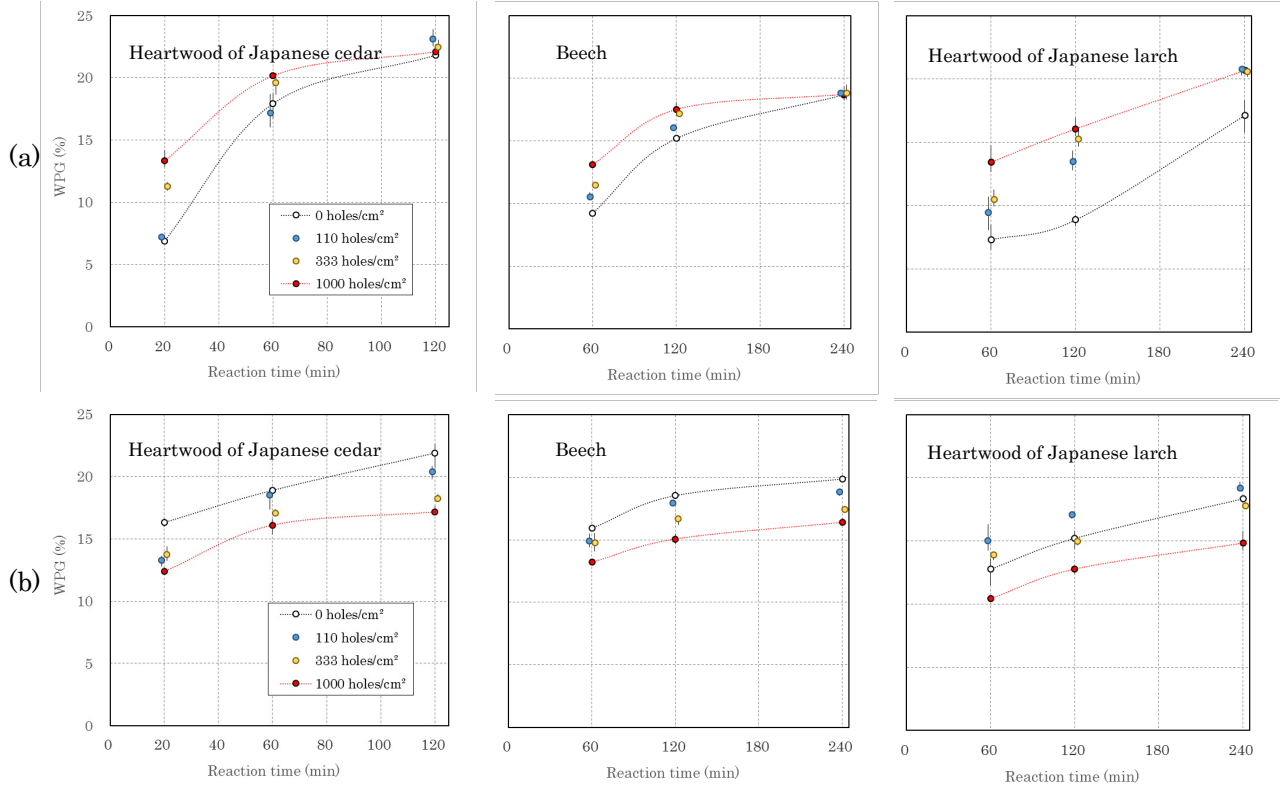


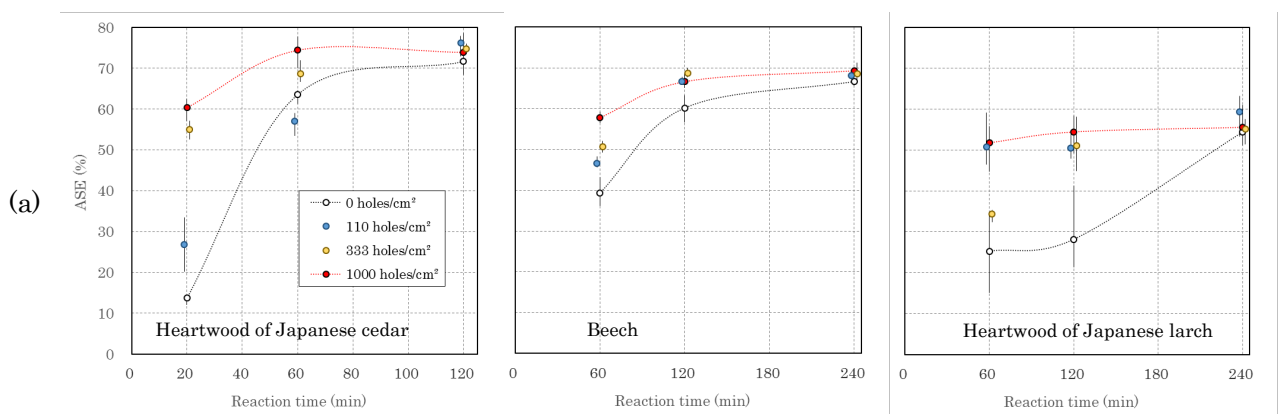
図3 アセチル化による重量増加率の経時変化 (a)気相法, (b)液相法

※エラーバーは最大値および最小値を示す (n=3)

3.3 吸水試験による寸法安定性

アセチル化処理材の吸水試験による ASE を図 4 に示す。気相法の場合、ASE の推移は WPG のそれと同様な傾向を示した。ただしカラマツ心材については、240min の WPG が穿孔材と無孔材で 4%程違うものの、ASE に大きな違いは見られなかった。さらに ASE は他樹種と比較して 10%以上低い値に留まり、ばらつきも大きいことから、材内のアセチル化処理が不均一である可能性が推察される。

スギ心材およびブナ辺材では、一般に液相法は気相法に比べて浸透速度が大きいため、試片寸法が小さい本実験においては短い反応時間でも穿孔加工の優位性は確認できなかった。カラマツ心材については気相法以上にばらつきが大きく、ASE も 50%程度に留まった。



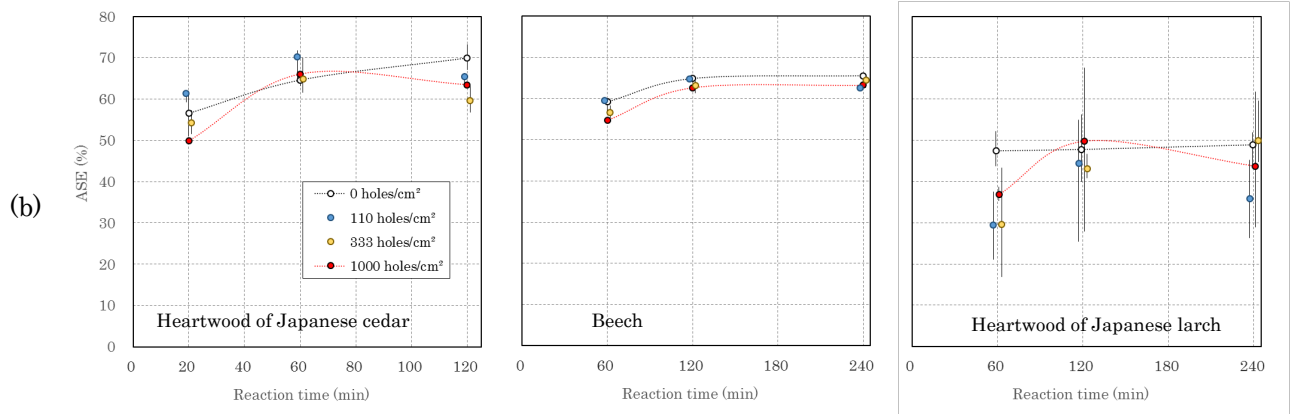


図4 アセチル化による寸法安定性の経時変化 (a)気相法, (b)液相法

※エラーバーは最大値および最小値を示す (n=3)

3.4 気相法における WPG と ASE の関係

スギ心材およびブナ辺材における WPG と ASE の関係を図 5 に示す。各穿孔密度について回帰分析を行ったところ、実験範囲内において回帰直線に高い決定係数が得られた。そこでスギ心材について同じ WPG で比較すると、穿孔密度が高いほど ASE が高くなる傾向が見られた。これは穿孔加工が気体の浸透性を向上させ、材内の均質な処理に寄与した可能性を示している。

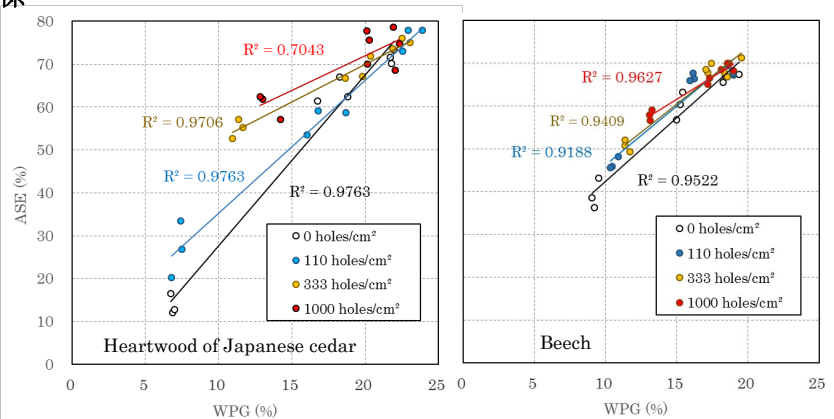


図5 WPG と ASE の関係

一方ブナ辺材の場合、穿孔密度の違いによる回帰直線の差はほとんど認められなかった。この理由としてブナは放射組織が発達していることに加え、用いた材が辺材部であり無孔材であっても気体浸透性が高かったためと考えられる。

3.5 X線 CT による回帰式の算出

X線 CT 画像の解析により得られた木材の全乾密度と平均輝度値 (BKG 補正) の関係を図 6 に、気相法により段階的にアセチル化したカラマツ心材およびスギ心材の重量増加と、アセチル化前後の総輝度差 (BKG 補正) の関係を図 7 に示す。これらの回帰分析を行ったところ、近似直線は 0.99 の高い決定係数を示し、2 変数は比例関係にあることが示された。従って本近似式を用いた 2 変数間の変換は概ね問題ないと考えられる。

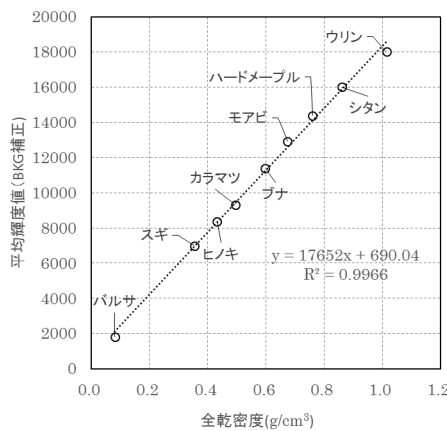


図6 木材密度と輝度値の関係

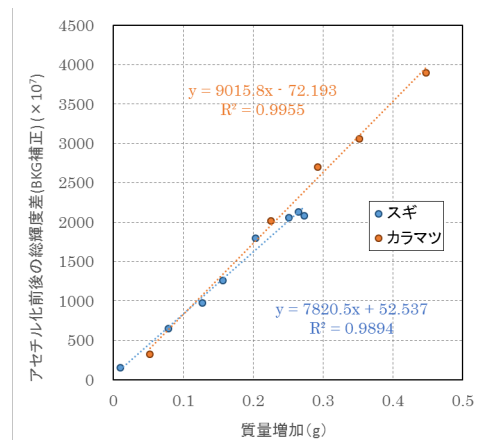


図7 重量増加と輝度差の関係

たところ、近似直線は 0.99 の高い決定係数を示し、2 変数は比例関係にあることが示された。従って本近似式を用いた 2 変数間の変換は概ね問題ないと考えられる。

3.6 早材および晩材における WPG の算出

カラマツ心材のアセチル化では、反応相や穿孔密度に因らず、他樹種に比べ ASE が相対的に低い値に留まり、ばらつきが大きい傾向が見られた。この原因を処理の不均一性に因るものと考え、X 線 CT を用いて早晩材における WPG の算出を試みた。なお、スギ心材も対照として同様に解析した。

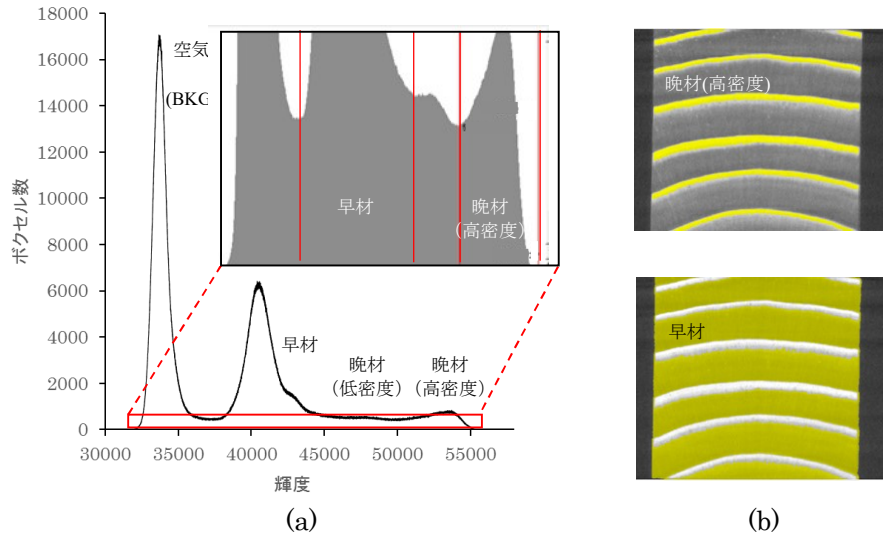


図 8 カラマツ心材の領域指定結果

(a) ヒストグラム, (b) 木口面の早晩材領域指定部分

カラマツにおける早材および晩材の領域指定結果を図 8 に示す。得られたヒストグラ

ムのピークは空気 (BKG)、早材部、晩材部を示しており、各ピークを垂直分割した結果、早材部および晩材部 (高密度) の領域は図中の黄色で示される部分となった。

図 9 に得られた各領域の体積、輝度値から算出した早材部および晩材部 (高密度) の WPG を示す。スギ心材およびカラマツ心材両者とも、材料全体の WPG が低いときの晩材部の処理レベルは低い値を示したが、前者が全体の WPG10% 付近から急激に晩材の WPG が上昇し、WPG20% 近傍では全体と同値を示す一方、後者は晩材の WPG の上昇率が相対的に低く、全体の WPG が 20% でも晩材はやや低い WPG を示した。また得られたヒストグラムから両者の晩材率を算出すると、スギ心材は 11%、カラマツ心材は 21% であり、カラマツの方が 2 倍大きかった。さらに、一般に木材は密度が高いほど収縮膨潤が大きい性質を持つが、スギ晩材の密度が 0.78g/cm^3 であったのに対し、カラマツ晩材 (高密度) の密度は 1.00g/cm^3 であり、極めて大きかった。これらのことから、カラマツは晩材の密度が極めて高く、さらに晩材率も比較的大きいため、晩材部の不十分な処理が ASE に影響を与えたものと考察した。

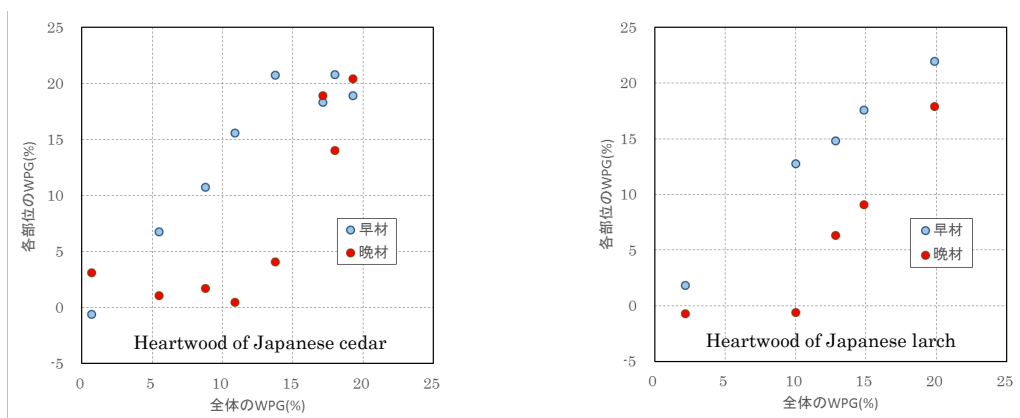


図 9 早材部および晩材部における WPG

4. まとめ

以上のとおり木材の UV レーザ加工技術は、表面として用いる板目面や柾目面の浸透性を著しく改善し、表層選択的かつ均質な化学処理を可能にすることが示された。浸透不良な樹種や長尺材に特に有効と考えられ、アセチル化のみならずこれまでコスト面で実現されなかった様々な木材の化学処理の実用可能性が大いに期待される。