UV レーザインサイジングを応用した 木材表層の含浸型 WPC 処理^{*1}

福田聡史^{*2}, 野村昌樹^{*2}, 池田剛司^{*3}, 吉澤優樹^{*4},
山崎真理子^{*5}, 佐々木康寿^{*5}

UV-laser Incisions to Apply Wood-plastic Compositions to Wood Surfaces^{*1}

Satoshi FUKUTA^{*2}, Masaki NOMURA^{*2}, Takeshi IKEDA^{*3},
Masaki YOSHIZAWA^{*4}, Mariko YAMASAKI^{*5} and Yasutoshi SASAKI^{*5}

Ultraviolet wavelength short pulse laser (UV laser) was used to apply microscopic incisions to wood surfaces. Using the incisions, we tried to improve the physical properties by plasticizing the surface layer by impregnating it with resin. The UV laser can make a large number of perforations without impairing the aesthetic appearance of wood. Focusing on this point, at an incision treatment of 667 holes/cm², resin penetration was obtained up to the hole depth from the laser, even with a coating operation under atmospheric or a slightly reduced pressure, and a remarkable improvement in physical properties could be confirmed. When using acrylic resin, the rate of impregnation of solid content was 66 and 53% for sapwood of Japanese cedar and heart wood of Japanese larch, respectively, and the Brinell hardness was improved more than 6 and 4 times, respectively, and the indentation depth in the impact test was decreased less than 1/4 for both specimens. Although a high rate of impregnated solid content could not be obtained, a certain improvement in performance was observed even when a common resin coating was applied for treatment.

Keywords : UV-laser, microscopic incisions, WPC, brinell hardness.

紫外線波長の短パルスレーザ (UV レーザ) を利用し、木材の表面に微細なインサイジング加工を施した。このインサイジングを利用して木材の表面に樹脂を含浸し、表層を木材・プラスチック含浸複合材とすることにより強度物性の向上を試みた。UV レーザは、木材の表面の美観を損なうことなく極めて多くの穿孔が可能である。この点に着目し、667個/cm²のインサイジングを施したところ、常圧下の塗布操作あるいは僅かな減圧操作であってもレーザによる穿孔深さまで樹脂の浸透が得られ、顕著な物性の向上が確認できた。アクリル樹脂を用いた場合、質量基準による固形分としての含浸率はスギの辺材とカラマツの心材でそれぞれ66, 53% となり、ブリネル硬さはそれぞれ6倍以上、4倍以上に向上し、衝撃試験による圧痕深さはともに1/4以下に減少した。また、一般的な塗料などの樹脂を適用しても一定の性能の向上が認められた。

^{*1} Received May 8, 2017; accepted August 27, 2017 本研究の一部は、日本木材加工技術協会第33回年次大会 (2015年9月, 札幌) ならびに日本材料学会東海支部第10回学術講演会 (2016年3月, 岐阜) において発表した。

^{*2} あいち産業科学技術総合センター産業技術センター Industrial Research Center, Aichi Center for Industry and Science Technology, Aichi 448-0013, Japan

^{*3} 元 株式会社レーザックス Formerly, Laserx Co., Ltd, Aichi 472-0017, Japan

^{*4} 株式会社レーザックス Laserx Co., Ltd, Aichi 472-0017, Japan

^{*5} 名古屋大学大学院生命農学研究科 Graduate School of Bioagricultural Science, Nagoya University, Aichi 464-8601, Japan

Corresponding author: S. Fukuta (fukuta@aichi-inst.jp, satoshi_2_fukuta@pref.aichi.lg.jp)

1. 緒 言

木質材料に対するレーザ加工には、これまで赤外線波長（波長10.6 μm ）の CO_2 レーザが利用されてきた。それに対し、より波長の短いレーザの中でも特に、パルス発振される紫外線波長のレーザ（以下 UV レーザ）を用いることで、木材を効率良く加工できることを見出した¹⁾。短波長でパルス幅の短い UV レーザは理論集光径が小さく、熱の影響も少ないため、精密・微細な加工が可能である。そのため、その特徴を生かし、木材に対する精密な切断加工や穴開け加工の可能性について報告している²⁾。この穴開け加工による穿孔の直径は20~80 μm で、ほぼ肉眼では認識できない。そこで、木材の表面の美観を損なうことなく極めて多くの穿孔が可能な特徴に着目し、インサイジング加工に対してこの UV レーザを応用した。木材への液体の浸透には異方性があり³⁾、いわゆる表面からの十分な液体の浸透を得ることは一般的に困難である。それに対し、このインサイジング加工により、表層への液体の浸透が得られるならば、含浸処理による化学修飾によって、表面に様々な機能を付与することも可能であると考えられる。

そこで本研究では、その試みの一つとして含浸剤として樹脂を適用し、木材・プラスチック含浸複合（以下 WPC）処理を試み、表面の強度物性、具体的には硬さと耐衝撃性の向上を検討した。選択的に表層のみの性能を向上させることにより軟質な材料の高度利用を目指す取り組みは様々な提案されており^{4,5)}、樹脂の含浸を用いた手法も報告されている^{4,6,7)}。しかしながら、工業的に応用するためには、表層への均質な含浸処理とそのための工程が課題になると考えられる。本研究では、多数の穿孔を設けることができる利点を生かし、極力簡便な浸透操作により含浸剤の浸透を図ることとした。本報では、その処理の概要と含浸プロセスにおける諸物性および加工後の木材の物性について紹介する。

2. 実験方法

2.1 供試試料および UV レーザの加工条件

スギ (*Cryptomeria japonica*) の辺材（以下スギ）およびカラマツ (*Larix kaempferi*) の心材（以下カラマツ）の板目板（L : 300, T : 100, R : 20 mm）の気乾材（含水率10.5%）を供試試料とし、L-T 面の中央280×80 mm に Fig. 1 のパターンでインサイジング加工を施した。穴の密度は、1 cm^2 あたり約667個となる。UV レーザ発振器は Spectra-Physics

製 LD 励起 Q スイッチ固体レーザ HIPPO を用い、ガルバノスキャナを使用してパターンを描いた。加工条件を Table 1 に示す。UV レーザのパルス幅は12 ns で、1 パルスあたり100 μJ のエネルギーを有する UV レーザを発振繰り返し周波数50 kHz で発振するため、出力は5 W である。この条件のもと、UV レーザを1穴につき400パルス（50 kHz で8 ms）照射した。発振器から出射された UV レーザ光は、ビームエキスパンダにより直径4 mm に拡大した。その後、f θ レンズによって UV レーザ光を集光した。焦点位置における理論集光径は約21.7 μm と算出される。焦点位置は試料の表面とした。なお、今回の加工条件におけるインサイジングの加工時間は1111 min/m^2 （実測値）であった。

2.2 供試樹脂

樹脂は、アクリルモノマー DIAKITE PF-2730（東栄化成(株)製、以下アクリル）、緑色のカシューエナメル塗料（カシュー(株)製、以下カシュー）、アルコール溶性フェノール樹脂 BLS-356（アイカ SDK フェノール(株)製、以下フェノール）および2種類のウレタンプレポリマー PS-NY6, PSNY#3000（寿化工(株)製、以下それぞれウレタン1, 2）を用いた。なお、アクリルには重合開始材として、2,2'-アゾビス（イソプロチロニトリル）を4部混合した。カシューは木材用塗料として市販されているもので、粘度を下げるため蒸発残分55%まで所定の溶媒によって希釈した。フェノールは平均分子量が約9000で、蒸発残分は60%であった。これをエタノールにより蒸発残分54%まで希釈して用いた。ウレタン1

Fig. 1. Incision pattern.

Table 1. Laser irradiation parameters.

Wavelength (nm)	355
Pulse width (ns)	12
Pulse energy (μJ)	100
Pulse repetition rate (kHz)	50
Power (W)	5
Focal length (mm)	160
Original beam diameter (mm)	1
Beam expansion ratio	4
Irradiation time per 1 hole (ms)	8

および2は、浸透型の木材補強剤として市販されているもので、PS-NY6は古文化財の修復に使用実績があり、PSNY#3000は一般木工用である。塗布することで表面の保護と変色防止に寄与するとされており、蒸発残分はそれぞれ45, 40%であった。

2.3 含浸処理

これらの樹脂をインサイジング加工面に対して刷毛により塗布し、内部への浸透が見られなくなるまで十分に浸透させた後に表面を拭き取った。カラマツは刷毛により塗布するものの、浸透に時間を要するため、塗布と真空デシケータ中での減圧操作を3回繰り返した後に表面を拭き取った。含浸処理前後の試料の質量から式(1)、(2)より、それぞれ塗布量 S (kg/m^2)、注入量 W (kg/m^3) を算出した。一方、木材の真密度を $1500 \text{ kg}/\text{m}^3$ とすると式(3)⁸⁾により樹脂溶液の理論最大注入量 W_{max} (kg) が算出できる。これらをもとに式(4)から質量基準による溶液の含浸率 IR_L (%) を求めるとともに、それぞれの樹脂溶液の蒸発残分 D (%) をもとに式(5)により、質量基準による固形分としての含浸率 IR_S (%) を算出した。

$$S = \frac{m_1 - m_0}{A} \quad (1)$$

$$W = \frac{S}{d} \quad (2)$$

$$W_{\text{max}} = \left(1 - \frac{m_{0d}}{1500V}\right) \times A \cdot d \cdot \rho_L \quad (3)$$

$$IR_L = \frac{m_1 - m_0}{W_{\text{max}}} \times 100 \quad (4)$$

$$IR_S = IR_L \times \frac{D}{100} \quad (5)$$

ここで、 m_1 ：含浸後の試料の質量 (kg)、 m_0 ：含浸前の試料の質量 (kg)、 A ：塗布面積 (m^2)、 d ：浸透深さ (m)、 m_{0d} ：試料の全乾質量 (kg)、 V ：試料の体積 (m^3)、 ρ_L ：含浸溶液の密度 (kg/m^3) を示す。含浸処理後は以下の方法で樹脂を重合・硬化させた。アクリルは嫌気性重合のため、浸透面を 140°C の熱プレスの表面に接触させた状態で30分間加熱した後に取り出した。フェノールは加熱により重合するため、試料を 60°C の送風乾燥機に入れ数時間加熱して溶媒を除去し、 140°C の熱プレスの表面に接触させた状態で30分間加熱した後に取り出した。カシューは溶媒揮散型の塗料のため、浸透後は常温で十分な時間静置し、養生した。ウレタン1, 2はともに湿気硬化型の樹脂であり、浸透後は常温で十分な時間静置し、養生した。

2.4 浸透形態の観察と浸透深さの測定

樹脂を重合・硬化処理した試料は、浸透形態を観察する目的および樹脂による表面のスキン層が表面の強度物性に影響することを排除するために、表層約 0.5 mm を自動一面鉋盤により除去した。浸透深さの測定は、鉋加工を行う前に浸透部分を鋸断した木口断面を光学顕微鏡 (LEICA 製 Z16 APO) により観察し、表面から浸透部位までの距離を数箇所測定することとし、測定値の平均値を浸透深さとした。同時にレーザによる加工痕も確認した。

木口断面を走査型電子顕微鏡 (以下 SEM) によって観察するための試料は、鉋加工後の試料において、樹脂の浸透部分の表面から、おおよそ $L:10, T:2.5, R:2.5 \text{ mm}$ の試料を切り出し、 $T-R$ 面をミクロトーム刃により切削し、白金を蒸着処理することにより SEM 観察用の試料とした。

2.5 硬さおよび耐衝撃性評価

測定には上述のとおり、樹脂のスキン層を除去した試料を用いた。表面硬さは JIS Z 2101 木材の試験方法⁹⁾ に基づきブリネル硬さを評価した。耐おもり落下性 (耐衝撃性) の評価は、JIS K 5600-5-3 塗料一般試験方法 - 第5部：塗膜の機械的性質 - 第3節：耐おもり落下性¹⁰⁾ に定める衝撃変形試験器を用い、衝撃による圧痕深さを求めた。質量 500 g のおもりを、落下高さ 300 mm から落下させ、直径 $1/2$ インチの球状の圧子により試料の表面に衝撃を加え、生じた圧痕深さを測定した。測定部位は両試験とも早材部とし、硬さは6点、圧痕深さは3点の測定を行った。なお、測定時の試料の含水率は 10.5% であった。

3. 結果と考察

3.1 穿孔形態

穿孔形態を観察するために別途厚さ 5 mm のスギ杭目板を調製し、Table 1 と同条件にて繊維方向に 0.2 mm の間隔で穴開け加工を行った時の穿孔形態を Fig. 2 に示した。Fig. 2 (a) は穿孔面、Fig. 2 (b) および (c) は穿孔に沿って割裂した割裂断面を示した。Fig. 2 (b) は表面近傍、Fig. 2 (c) は裏面近傍である。実際の穴の直径は理論集光径よりも大きくなるのが一般的であり、Fig. 2 (a) から、表面の入射部の直径は約 $70 \mu\text{m}$ であった。表層付近の断面写真 Fig. 2 (b) から、内部の直径は表層近傍で約 $50 \mu\text{m}$ となり、深さ方向に僅かに直径は小さくなり、厚さ 5 mm の試料を貫通する時の穴の直径は、Fig. 2 (c) から約 $30 \mu\text{m}$ であった。著者らの既往の研究により、穿孔深さは試料の密度の影響を受けることが明らかになっており、本報で含浸処理に供し

Fig. 2. Appearance of UV-laser incisions.

- (a) Surface
(b) Split face (near surface)
(c) Split face (near backside)

た板目の試料の場合、後述するように、晩材部の密度の影響を受け穿孔深さはこれよりも浅くなった。

3.2 浸透形態

浸透形態を目視で観察できる試料として、Fig. 3 にカシュウの浸透形態を示す。塗布面を鉋加工により約0.5 mm 除去しても、深さ方向に樹脂が浸透していることが観察された。しかし切削面の様子から、両樹種とも晩材部分における着色は早材部と比較して淡いことから、晩材部では繊維方向への浸透は十分に得られていないと思われる。スギは深さ方向に比較的均一に浸透しており、浸透深さは約3.5 mm であった。光学顕微鏡による観察の結果、UV レーザによる穿孔深さと同じであった。つまり、UV レーザによる穿孔深さまで浸透が得られると判断できた。一方、カラマツは深さ方向への浸透にばらつきが見られた。つまり、晩材部分より下に浸透していない、あるいは浸透深さが浅くなった。光学顕微鏡による観察の結果、この部分にはUV レーザが貫通していなかった。カラマツは晩材の層が厚いため穿孔深さにばらつきが生じたためと考えられる。しかしながらスギと同様、UV レーザが到達した穿孔深さまでは樹脂が浸透していることが確認できた。

Fig. 3. Permeation state of cashew enamel paint resin.

- (a) Cutting surface
(b) Cross section

なお、インサイジングによる木材実質の体積減少率は、測定された穿孔形状および浸透深さに基づき、インサイジング孔を直径50 μm 、深さ3.5 mm の円筒として算出すると、スギで1.3%であった。カラマツは部分的に加工深さが浅くなったためそれ以下の減少率であり、これらは以降の含浸率等の算出に対して無視できるものと判断した。

3.3 浸透量と木口断面のSEM 観察

今回使用した樹脂の塗布量は、インサイジング加工を施していない試料においては、両樹種とも0.06 ~ 0.15 kg/m^2 であった。つまり、板目面からの液体の浸透は僅かであり、塗料のように表面をコーティングする作用しか期待できない。それに対してインサイジング試料では、Table 2 の塗布量から全ての樹脂に対して顕著な浸透が確認できる。前述の浸透形態の観察結果に基づき、スギの浸透深さを3.5 mm、カラマツを平均3.0 mm として注入量を算出すると、スギにおいては最大で690 kg/m^3 程度の注入量が得られた。つまり、一般的な減圧・加圧法による注入量に匹敵する注入量を塗布操作によって得ることができた。一方、カラマツの心材部分は液体

Table 2. Some details of the impregnation process.

Wood specimen	Resin	Spread S (kg/m ²)	Solution retention W (kg/m ³) ^{a)}	Impregnation rate IR_L (%)	Solid retention rate ^{b)} IR_S (%)
Japanese cedar	Acryl ^{c)}	1.91	5.5×10^2	66	66
	Cashew ^{d)}	1.50	4.3×10^2	51	28
	Phenol ^{e)}	0.81	2.3×10^2	27	15
	Urethane 1 ^{f)}	2.13	6.1×10^2	71	32
	Urethane 2 ^{g)}	2.40	6.9×10^2	80	32
Japanese larch	Acryl ^{c)}	1.21	4.0×10^2	53	53
	Cashew ^{d)}	0.91	3.0×10^2	40	22
	Phenol ^{e)}	0.96	3.2×10^2	42	23
	Urethane 1 ^{f)}	1.43	4.8×10^2	62	28
	Urethane 2 ^{g)}	1.21	4.0×10^2	53	21

Note: ^{a)}: Permeation depth of cedar and larch was calculated as 3.5 and 3.0 mm, respectively.

^{b)}: Calculated value from IR_L .

^{c)}: Acryl monomer, DIAKITE PF-2730.

^{d)}: Cashew enamel paint.

^{e)}: Alcohol soluble phenolic resin, BLS-356.

^{f)}: Urethane pre-polymer, PS-NY6.

^{g)}: Urethane pre-polymer, PSNY#3000.

の注入がきわめて困難な難注入材である。しかし、塗布操作によっても一定の浸透が認められるとともに、短時間の僅かな減圧操作により、表面張力によって表層に残った液体を浸透させることができ、最大で480 kg/m³程度の注入量を得た。操作の繰り返しを増やすことで更なる注入量の増加も期待できる。

次に、樹脂による違いについて考察する。5種類の樹脂は、処方時における液体の性状に基づく判断によるものの、それぞれ粘度が異なり、その違いが注入量に影響する傾向が見られた。粘度が低い樹脂ほど注入量が大きく浸透速度も速い傾向が見られ、最も粘度が低いアクリル（粘度8 mPa・s）は浸透が速く、比較的高い注入量が得られた。しかし浸透に及ぼす要因は粘度のみではなく、溶媒の違いなどによる表面張力の影響が大きい¹¹⁾。また、溶質の分子量や分散粒子の大きさも注入量は浸透形態に大きく影響を及ぼすと考えられる。今回の結果はこれらの様々な影響を受けた結果であると考えられ、例えばウレタン1、2はアクリルよりもやや粘度が高く、浸透速度も遅い傾向であったがアクリルよりも高い注入量が得られた。なお、注入量に及ぼす様々な物性への影響については今後あらためて検討する予定である。アクリルは浸透するほぼ全てのモノマーが加熱により重合、硬化するため、最終的に高い IR_S が得られた。含浸処理により表面の強度を得るためには高い IR_S を得ることが重要であると考えられる。カシューは様々な塗料の中でも高い蒸発残分（約70%）を有することが特徴である。今回、一定

の浸透を確保するため、粘度を下げることを目的に所定の溶媒により蒸発残分を55%まで希釈して適用したものの、カラマツ心材に対しては注入量が少なかった。カシューは塗料のため、用いた樹脂の中では最も分子量が高いと考えられるうえ、顔料を含んでいるため浸透を阻害したことも予想される。フェノールは、細胞壁への浸透よりも細胞内腔への固形分の残存を目的として平均分子量の高いものを選択するとともに、蒸発残分の低下を防ぐため、溶媒による希釈は僅かとした。そのため、希釈前の粘度（約500 mPa・s）からはほとんど低下せず、注入量は用いた樹脂の中で最も少なかった。しかし両樹種に対して深さ方向への一定量の浸透が認められた。ウレタン1、2はともに表層への浸透を考慮した製品のため、希釈しなくても高い注入量が得られた。しかし、蒸発残分はそれぞれ45、40%と低いため、結果的に IR_S は低く算出された。Fig. 4にWPC化した表層近傍のT-R面のSEM像を示す。全て早材部を撮影した。充填された仮道管の割合は表層が最も多く、深さ方向に少しずつ減少する傾向は見受けられたものの、樹脂溶液の浸透部分には概ねFig. 4に示す様な仮道管内腔への樹脂の充填が確認できた。ただし、晩材部の内腔への充填は観察において認められなかった。これは、晩材部の内腔径が早材部のそれよりも小さいためであると考えられる。質量基準である IR_S と体積基準である観察による内腔の充填割合は必ずしも整合しないが、充填された仮道管の割合は、概ね IR_S に相関する傾向であ

Fig. 4. Scanning electron microscope image of cross section at the resin-treated early wood part near the surface.

- (a) Sample: Japanese cedar, Resin: Acryl
- (b) Sample: Japanese cedar, Resin: Cashew paint
- (c) Sample: Japanese cedar, Resin: Phenol
- (d) Sample: Japanese cedar, Resin: Urethane 1
- (e) Sample: Japanese cedar, Resin: Urethane 2
- (f) Sample: Japanese larch, Resin: Acryl
- (g) Sample: Japanese larch, Resin: Cashew paint
- (h) Sample: Japanese larch, Resin: Phenol
- (i) Sample: Japanese larch, Resin: Urethane 1
- (j) Sample: Japanese larch, Resin: Urethane 2

った。ただし、フェノールを用いた Fig. 4 (c) と (h) では、その他の試料と比較して、充填が不完全な仮道管が比較的多く観察された。また、ウレタン 1 を使用した Fig. 4 (d) と (i) の拡大像をそれぞれ Fig. 5 (a), (b) に示す。充填された細胞内腔にお

Fig. 5. Magnified images of Figs. 4 (d) and 4 (i).

- (a) Sample: Japanese cedar, Resin: Urethane 1
- (b) Sample: Japanese larch, Resin: Urethane 1

いて、樹脂が発泡していることが観察された。つまり、充填された仮道管の割合が、厳密に IR_s と相関するとは言えないと考えられる。このような充填形態は、後述の強度物性にも影響していると思われる。なお、Fig. 5 (a), (b) に観察される気泡は、湿気硬化型のウレタンの反応時に放出された炭酸ガスによるものと考えられる。一方、ウレタン 2 では Fig. 5 (a), (b) に見られるような樹脂の発泡は観察されなかった。ウレタン 1 はウレタンプレポリマーのみが主成分であり、ウレタン 2 はウレタンプレポリマーとポリイソシアネートで構成されている。これらの反応後の形態への影響は不明だが参考として付記する。

3.3 表面硬さと耐衝撃性

WPC 化した試料の表面の物性として、表面硬さと耐衝撃性試験における圧痕深さを測定した。Fig. 6 (a), (b) に、それぞれスギおよびカラマツのブリネル硬さと IR_s を示す。また、Fig. 7 (a), (b) に、それぞれスギおよびカラマツの圧痕深さと IR_s を示す。比較対照としてブナ材の測定結果も示した。表層が WPC 化されたことで、アクリルの場合、ブリネル硬さはスギ材において 6 倍以上、カラマツ材において 4 倍以上に顕著に向上した。また、耐衝撃性試験における圧痕深さはスギ、カラマツとも 1/4 以下に減少した。 IR_s が低い他の樹脂の場合であっても、比較的高密度の広葉樹であるブナ材と概ね同等の性能が得られた。これらの樹脂の場合、 IR_s と物性に明確な相関関係は認められなかったが、その理由は、物性が IR_s だけでなく、樹脂自体の物性やその浸透形態にも依存しているためであると推察される。

4. 結 論

UV レーザを利用し木材の表面に微細なインサイジング加工を施した。このインサイジングを利用して木材の表面に樹脂を含浸し、表層を含浸型 WPC 化することにより強度物性の向上を試みた。UV レ

(a)

(b)

Fig. 6. Brinell hardness and impregnation rate of solid content IR_s .

(a) Japanese cedar

(b) Japanese larch

Note: Error bars showed standard deviation.

ーザによる加工は熱の影響が少なく、微細な穴加工が可能であるため、目視では加工痕として認識されない。この点に着目し、667個/cm²のインサイジングを施したところ、常圧下の塗布操作あるいは僅かな減圧操作であってもUVレーザによる穿孔深さまで樹脂の浸透が得られ、顕著な物性の向上が確認できた。アクリルを用いた場合、質量基準による固形分としての含浸率はスギの辺材とカラマツの心材でそれぞれ66, 53%となり、ブリネル硬さはそれぞれ6倍以上、4倍以上に向上し、衝撃試験による圧痕深さはともに1/4以下に減少した。また、一般的な塗料などを適用した場合は、固形分としての含浸率はそれほど高くないものの、一定の性能の向上が認められた。

本研究では樹脂による強度物性の向上を目的とし

(a)

(b)

Fig. 7. Indentation depth and impregnation rate of solid content IR_s .

(a) Japanese cedar

(b) Japanese larch

Note: Error bars showed standard deviation.

たが、このUVレーザによるマイクロインサイジングは、様々な化学処理への展開が期待できると考えられる。その一方で、現状1穴あたり8msの発振時間であっても、インサイジング密度が高いと加工時間が長くなるため、実用的にはその短縮が求められる。発振器の性能向上に期待しつつ、今後はこのUVレーザの木材に対する加工特性を解明し、加工パラメータを最適化することで加工時間の短縮に努めたい。また、インサイジング密度やその深さ、穴径などの条件も、要求する物性や適用するケミカル、樹種に応じてあらためて検討する必要がある。

文 献

- 1) Fukuta, S., Nomura, M., Ikeda, T., Yoshizawa, M., Yamasaki, M., Sasaki, Y.: Wavelength

- dependence of machining performance in UV-, VIS- and NIR-laser cutting of wood. *J Wood Sci.* **62**(4), 316-323 (2016).
- 2) Fukuta, S., Nomura, M., Ikeda, T., Yoshizawa, M., Yamasaki, M., Sasaki, Y.: UV laser machining of wood. *Euro J of Wood and Wood Prod.* **74**(2), 261-267 (2016).
 - 3) 谷川 充, 古野 毅, 城代 進: 難注入性木材の液体浸透 (第1報) 毛管圧浸透と加圧注入における5樹種の方向別浸透性. 木材保存 **18** (5), 260-269 (1992).
 - 4) 長谷川良一, 児玉順一: 軟質木材の高度利用研究 (第2報) ロール圧密による表層圧密木材の製造. 岐阜県生活技術研究所研究報告 **9**, 50-57 (2007).
 - 5) 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正: 軟質針葉樹材の表面層圧密化処理 (第1報) 木材の表面層を選択的に圧密化するための新しい技術について. 木材学会誌 **36**(11), 969-975 (1990).
 - 6) 長谷川良一, 児玉順一: 軟質木材の高度利用研究 (第3報) ロール圧密による表層圧密木材の実用化. 岐阜県生活技術研究所研究報告 **10**, 35-39 (2008).
 - 7) 井上雅文, 則元 京, 大塚康史, 山田 正: 軟質針葉樹材の表面層圧密化処理 (第2報) フェノール樹脂初期縮合物による圧縮木材の固定および処理材の2, 3の物性. 木材学会誌 **37**(3), 234-240 (1991).
 - 8) 木材加工技術ハンドブック編集委員会: 改訂版木材加工技術ハンドブック, 奈良県森林技術センター, 奈良, 2000, p.362.
 - 9) JIS Z 2101: 木材の試験方法. 日本規格協会 (2009).
 - 10) JIS K 5600-5-3: 塗料一般試験方法-第5部: 塗膜の機械的性質-第3節: 耐おもり落下性. 日本規格協会 (1999).
 - 11) 矢田茂樹: 木材中への毛管圧浸透における液体の最適表面張力. 木材学会誌 **35**(11), 966-971 (1989).