

香りでやすらぐ木工製品の開発 木材乾燥による精油回収実証試験について

伊藤国億^{*1}， 瀨嶺正憲^{*2}， 土肥基生^{*3}

Development of Wood Products Comforting Aroma Demonstration of Essential Oil Recovery in the Exhaust Steam during Wood Drying

ITO Kuniyasu^{*1}, KOUKETSU Masanori^{*2}, DOHI Motoo^{*3}

木材乾燥工場の乾燥機に精油回収装置を接続して実証試験を行った。乾燥工場での精油回収量は材積1m³あたり0.2～0.3L程度であり、森林研究所での回収試験に比べて2割以下であった。木材乾燥に影響を与えないように閉鎖的な蒸気回収システムにしなかったことと本装置の冷却能力以上の蒸気が排出されたことにより、回収率が低下した。回収した精油組成はセスキテルペン類が9割以上で構成された。α-ピネンなどのモノテルペンが殆ど含まれていないことから、冷却不足により揮発性の高いモノテルペン類は回収できなかったと考えられる。

1. 緒言

国内針葉樹林が成熟期を迎え、国家施策によってスギ、ヒノキなど木材は住宅用材として消費拡大が促進されている。住宅用材は材内の含水量を減らすため乾燥処理されて市場に供給されているが、その乾燥過程で材内の水分が排出蒸気となって多量に生じている。この排出蒸気には木材由来の精油等が含まれているが、排出蒸気を回収して精油を利用することはほとんどない。我々は未利用資源かつ副生産物である排出蒸気中の精油を回収し、その組成や収量を検証するため、恒温恒湿器を活用した乾燥機と冷却装置を用いた木材乾燥実験を行い、乾燥条件(温度、時間)に伴う精油組成を明らかにした¹⁾。次いでラボ機の100倍スケールの精油回収装置を製作し、これを岐阜県森林研究所の木材乾燥機(材積max.3.1m³)に接続し、90℃乾燥スケジュールでヒノキ板材の乾燥試験を行い、精油回収量がラボスケールと同等であったことを検証した²⁾。

そこで、実用化に向けて木材乾燥工場の乾燥機に精油回収装置を接続し実証試験を行った。

2. 実験方法

2.1 実証試験における精油回収方法

木材乾燥工場(以下、乾燥工場)の木材乾燥機(エノ産業(株)社製、材積max.16.5m³)の蒸気排出口

と精油回収装置の給気口1ヶ所を直径300mmのフレキシブルステンレスダクトで接続した(図1)。

森林研究所(以下、森林研)における乾燥試験では乾燥機内のファンを正転逆転させることで排出蒸気の流れが反転するため、回収装置の排出口と乾燥機の給気口もダクトで繋いだ閉鎖的な流路とした。このシステムでは材の乾燥不足や材表面の割れなどの乾燥不良は認められなかったが、乾燥工場の乾燥機の材積は森林研の5倍以上であることから、先の乾燥試験と同様のシステムでは乾燥機の湿球温度が十分に低下しないことが懸念された。そのため、回収装置の排気口1ヶ所を大気開放して残り2ヶ所の給排気口は閉じることにした。



図1 精油回収装置(左側)と木材乾燥機(奥側)

*1 試験研究部

*2 交告製材(株) *3 岐阜県森林研究所

木材乾燥は無背割材の高温セット乾燥を行った。蒸気の冷却は装置内部の冷却コイルと装置外層の冷却ミストにより行い、装置の冷却効果は装置の各部位（給排気口、冷却コイルの出入口）に設置した温度センサと冷却水(冷却コイル及び冷却ミスト)の流量計により検証した。

2.2 供試材

本試験に用いる試験体は東濃・中濃地域から産出されるヒノキ丸太(径級14cm,3m)から一丁取りして120mm角に製材し、材積16.5m³として試験に供した。

2.3 精油分析

回収した精油は先の報告¹⁾と同様にGCMS(ガスクロマトグラフ質量分析)に供した。得られたTIC(Total Ion Chromatogram)から各ピークの面積比を算出し、RI(Retention Index)およびNISTライブラリより各ピークを同定した。

3. 結果及び考察

3.1 精油回収装置の回収効果

回収装置の冷却処理条件に伴う精油回収量を表1に示す。乾燥工場での材積1m³あたりの精油回収量は森林研に比べて2割以下であった。森林研における乾燥試験では閉鎖的な流路により蒸気の漏れが極めて少なかったが、乾燥工場では回収装置の排気口を大気開放しているため、冷却できなかった蒸気が排出されて回収量が大幅に低下したと考えられる。

表1 回収装置の冷却処理条件に伴う精油回収量

試験場所	乾燥工場		森林研	
材積 (m ³)	16.5		1.1	
冷却水	運転	常時	常時	
	コイル・ミスト流路	分岐	直列	
	平均入口温度(°C)	13.5	15.0	18.1
	使用量(m ³)	13.0	4.2	9.6
冷却時間	19	31	24	
精油量	(L)	3.2	4.4	1.6
	(L/材積1m ³)	0.2	0.3	1.5

セット開始時の乾燥工場(常時運転)および森林研における回収装置の温度変化を図2,3に示す。回収装置の各温度において乾燥工場と森林研を比較すると、森林研の入口または出口温度が30~70°Cであったことに比べて乾燥工場の入口温度は90°C前後と高く、装置に流入する蒸気温度は高かった。(なお、森林研の乾燥試験では蒸気の流れが正反転することで回収装置の出入口温度は上昇と降下を交互に示す)。また、乾燥工場の出口温度は80°C前後であり、最大57°Cであった森林研に比べて高く、流入する蒸気に対して冷却能力が足りないことは明らかであった。

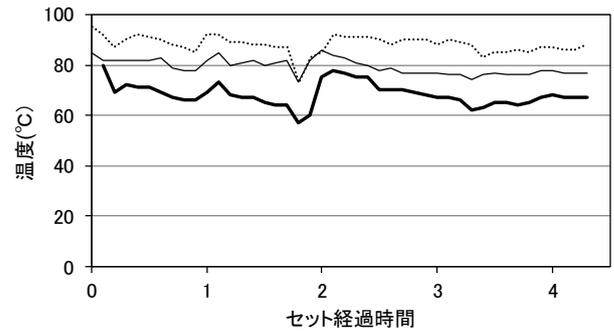


図2 乾燥工場における回収装置(常時)の温度変化

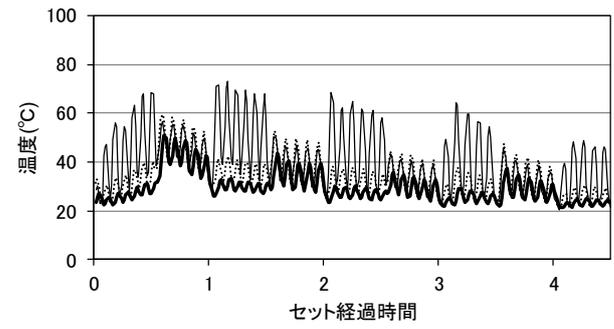


図3 森林研における回収装置の温度変化

森林研の乾燥試験では回収装置の冷却能力が十分であったことから、冷却コイルを通過した冷却水を冷却ミストとして使ったが、乾燥工場では冷却水の流路を元栓から分岐して同時に冷却させた。冷却水(冷却コイル)の出入口温度と流量から算出した冷却負荷量は、乾燥工場のセット開始から4時間において森林研の約1,500kWに比べて8倍以上の約13,000kWの冷却能力を示したが、回収した精油量は少なかった。また、乾燥機排気ファンが稼働する間だけ冷却水を通水するように間欠制御した場合、表1に示すように間欠運転時の冷却水量に比べて常時運転は約3倍の水量を使用したにも関わらず、冷却時間当たりの精油量は余り変わらなかった。これらのことから、現行の回収装置では多量の蒸気を瞬時に冷却する能力が足りないことその他、森林研の乾燥試験に供した試験材との相違による可能性もある。つまり、森林研の高温セット乾燥に用いた試験材は径級22cm、3m材であり、乾燥工場の試験材に比べて心材部が多く、それ故に排出蒸気中の精油量も少ない可能性が考えられる。

また、乾燥スケジュール時間を3分画し、分画毎に回収した試験を行った。分画毎の精油量を表2に、その際の回収装置の温度変化を図4に示す。精油回

回収量は乾燥スケジュールの初期から中期にかけて回収量が多く、後期は少なかった。回収装置の全ての温度がセット以降は低く、排気ファンの停止も頻発した。先の報告¹⁾と同様に乾燥スケジュールの初期ほど回収量が多いことと一致した。

表2 回収時期(時間)とその精油回収量

乾燥スケジュール	セット		乾燥
	120℃・19hr		100℃・60hr
回収時期	~13hr (初期)	~26hr (中期)	~79hr (後期)
回収量	0.9L	1.0L	0.6L

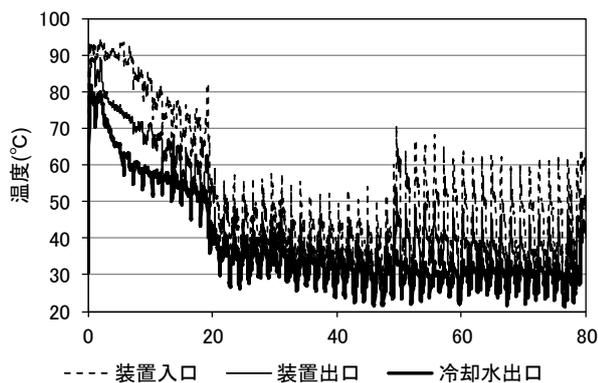


図4 精油分画時の回収装置の温度変化

3.2 回収した精油組成

回収した精油の主要な成分のTIC面積比を表3に示す。乾燥工場において常時冷却により回収した精油組成は森林研のそれに比べてモノテルペン類が少なく、特に α -ピネン量が大きく減少した。先の報告²⁾ではラボスケールにおいて冷却管(5℃, 風速2.7m/s)使用時の回収量は3.05L/m³、冷却槽(20℃, 風速6.2m/s)使用時の回収量は0.92L/m³であった。これらの精油中のセスキテルペン量はその組成比(冷却管の場合10.8%、冷却槽の場合54.0%)から材積あたりの回収量を簡易的に換算すると、それぞれの回収量は0.33L/m³、0.47L/m³であり、セスキテルペン量の差は総量に比べて明らかに小さかった。言い換えれば、冷却性能により α -ピネンを主要とする揮発し易いモノテルペンの回収量に大きな影響を与えたことが分かった。実証試験においても同様に冷却性能が足りず、モノテルペンの多くが回収できなかったと考えられる。

また、間欠運転では回収した精油の組成比は常時運転と殆ど変わらず、運転方法による冷却効果に差がみられなかった。

表3 主要な精油成分のTIC面積比

RT(min)	成分名	TIC面積比	
		乾燥工場	森林研
7.6	α -Pinene	1.1	28.6
31.0	α -Muurolene	10.5	7.9
31.6	γ -Cadinene	14.8	11.2
32.0	δ -Cadinene	26.9	18.0
36.4	T-Muurolol	14.5	7.7
36.9	α -Cadinol	13.8	6.5

4. まとめ

実用化に向けて乾燥工場の乾燥機に精油回収装置を接続して実証試験を行った。乾燥工場での精油回収量は材積1m³あたり0.2~0.3L程度であり、森林研での回収試験に比べて2割以下であった。木材乾燥に影響を与えないように閉鎖的な蒸気回収システムにしなかったことと本装置の冷却能力以上の蒸気が排出されたことにより、回収量が低下した。また、一丁取りに適した径級を用いているため、心材部体積の影響の可能性が懸念された。回収した精油の組成は9割以上がセスキテルペン類で構成された。 α -ピネンなどのモノテルペン類が殆ど含まれていないことから、冷却不足により揮発性の高いモノテルペンは回収できなかったと考えられる。

今後の課題として膨大な蒸気を冷却するために乾燥機の湿球管理をより精密に行うなど検討する必要がある。

参考文献

- 1) 伊藤国億ほか: 香りでやすらぐ木工製品の開発 木材乾燥における排出蒸気中の精油成分について, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.18, pp.5-9, 2016.
- 2) 伊藤国億ほか: 香りでやすらぐ木工製品の開発 (第3報) 木材乾燥における排出蒸気中の精油回収について, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.20, pp.5-8, 2018.

香りでやすらぐ木工製品の開発 精油含有木部保護塗料の試作

伊藤国億*1, 村田明宏*1, 杉本達哉*2

Development of Wood Products Comforting Aroma Prototype of Essential Oil-containing Wood Protection Paints

ITO Kuniyasu*1, MURATA Akihiro*2, SUGIMOTO Tatsuya*3

亜麻仁油を主剤とした木部保護塗料に既存の溶剤に替えてヒノキ精油を用いた塗料を試作した。塗装作業性や耐汚染性、耐摩耗性の塗膜性能は既存の溶剤と比べて同等であり、かつ作業時の芳香性が良かった。二回塗りすることにより、精油含有塗料は今回用いた市販品と同等またはそれ以上の塗膜性能(耐汚染性、耐摩耗性、滑り抵抗性)が得られた。

1. 緒言

当所ではこれまでに木材乾燥における排出蒸気中の精油回収試験を行い、その組成や収量を検証した¹⁻³⁾。また、回収したヒノキ精油を添加した消臭剤や木工製品の開発を進めてきた⁴⁻⁵⁾。一方、一般的に自然塗料と言われる塗料には石油資源から生産されるイソパラフィンやミネラルスピリット、マツなどの蒸留抽出物である植物系のテレピン油などの溶剤が使用されている。ヒノキ精油はテレピン油の組成に類似することから、これら塗料溶剤として利用できると考えられる。そこで、ヒノキ精油を溶剤として植物系オイル塗料を試作し、塗装作業性や塗装性能を既存の溶剤と比較した。

2. 実験方法

2.1 精油添加塗料の一次試作

木材乾燥により回収した精油を用いて木部保護塗料を試作した(表1)。なお、溶剤はヒノキ精油の他、テレピン油と石油系溶剤も調製し、これらの含有量を50%とした。

2.2 精油添加塗料の二次試作

木材乾燥により回収した精油を用いて木部保護塗料を試作した(表2)。なお、精油等の溶剤は20%含有とし、塗料⑤、⑥は下塗り剤のみ精油を添加した。

表1 一次試作塗料の種類

種類	植物油	溶剤	他添加物
塗料①	亜麻仁油	ヒノキ精油	なし
塗料②		テレピン油	なし
塗料③		石油系溶剤	なし

表2 二次試作塗料の種類

種類	植物油	溶剤	他添加物
塗料④	亜麻仁油	ヒノキ精油他	鉱物、乾燥促進剤
塗料⑤	ノンスリップオイル仕上げ (ヒノキ精油含有)		
塗料⑥	ノンスリップガラス仕上げ (ヒノキ精油含有)		

2.3 塗装工程

塗料①～③はP240で素地調整したヒノキ板目材に1回塗りで仕上げた。また、耐摩耗性試験用にこれらの塗料と市販の植物系オイル塗料Aを2回塗りで仕上げた。塗料④～⑥と市販の植物系オイル塗料B、Cは素地調整したオーク板目材に2回塗りで仕上げた。

2.4 塗料の性状

2.4.1 加熱残分

試験はJIS K 5601-1-2(2008)塗料成分試験方法-加熱残分を参考に実施した。各φ90mmシャーレに塗

*1 試験研究部 *2 (有)杉本

料を1g入れ、乾燥器で105℃、1時間乾燥した。乾燥前後の重量を測定して不揮発残渣(%)を求めた。

2.4.2 粘度

試験はレオメーター(ディー・エイ・インスツルメント 株式会社製 DHR-2)を用いて塗料の粘度を求めた。温度 23℃、コーン1.985°・直径40mm、ずり速度 100～8000s⁻¹の条件下で測定し、CASSON式より残留粘度を、TI(チクソトロピックインデックス)値は33rpmと330rpm時の粘度より求めた。

2.5 塗膜性能評価

2.5.1 耐汚染性試験

試験はJIS A 1531(1998)家具常温液体に対する表面抵抗の試験方法を参考に実施した。2.3で調製した各試験体表面に試験液(しょうゆ、ソース、蒸留水、エタノール)を滴下し、その上にろ紙を乗せ湿潤させ更に試験液を滴下した。ろ紙の上に蒸発防止のカバーガラスを被せて16時間(エタノールは1時間)放置した。放置後、しょうゆ及びソースはキムワイプで残渣をふき取った後、蒸留水を含ませたキムワイプで4回程度紙が着色しなくなるまで拭き、直後・および1時間後に表面を観察評価した。エタノールは同様に拭き取りを行った後、エタノールを含ませたキムワイプで数回拭き取り、観察評価した。評価についてはJIS A 1531に準じて表3のとおりに点数をつけた。

表3 耐汚染性試験における評価点数

5	肉眼で見える変化がない(損傷を受けていない)。
4	色・光沢にわずかな変化がある。ただし、光源が試験表面の非常に近くを照らし、その光が観測者の目に反射して入ってくる場合にのみ認められる程度。
3	数通りの観察方向から認められるわずかなこん跡がある。例えばほとんど完全な四角(ろ紙の跡)が見える。
2	明らかに色・光沢に変化があり、又は損傷がある。
1	ひどい損傷があり(割れ・水疱・浮きなど)、表面組織が変化している。表面素材が全部若しくは部分的に除去されているか、又はろ紙が表面に付着して離れない。

2.5.2 耐摩耗性試験

試験はJIS K 5970(2008)建物用床塗料、JIS K 5961(2003)家庭用屋内木床塗料を参考に実施した。試験機の使用条件は摩耗輪 CS17、回転数 100回転、回転速度 1.00±0.03S、荷重 4.90N/輪とし、摩耗減量を求めた。

2.5.3 滑り抵抗性試験

試験は静・動摩擦測定機(株式会社トリニティラボ 社製 TL201Tt)を用いて2.3において塗料を塗布した試験体の最大静止摩擦係数を求めた。測定条件は荷重質量 100g、スピード 5.0mm/s、測定距離 20mmとし、接触子は市販のスリッパ裏面を想定しPVCシートを貼り付けた触覚接触子を用いた(図1)。



図1 触覚接触子(PVC貼付)

3. 結果及び考察

3.1 試作塗料の塗装作業性

各塗料の残留粘度及びTI値を表4に示す。塗料①～③では残留粘度及びTI値はほぼ同じであり、精油を用いても既存の溶剤と比べて刷毛さばき等塗装作業性は変わらなかった。また、塗料④、⑤では市販品の塗料Dと同等の粘度を示した。しかし、塗料④及び塗料⑤(下塗用)のTI値は1.0及び1.2であった。これらから高せん断時の刷毛さばきは良いが、壁面などに塗布する場合は液だれに注意する必要があると判断された。

また、精油50%含有した塗料は塗装時に精油の香りが感じられ、植物油由来の酸化臭をマスキングする効果が感じられた。

表4 各塗料の残留粘度及びTI値

塗料種類	残留粘度 (Pa・s)	TI 値
塗料①	0.009	1.0
塗料②	0.007	1.0
塗料③	0.005	1.0
塗料④	0.100	1.0
塗料⑤(上塗用)	0.127	2.0
塗料⑤(下塗用)	0.119	1.2
塗料A(市販品)	0.041	1.0
塗料D(市販品)	0.123	1.7

3.2 塗膜性能

試作及び市販品の塗料を用いて作製した塗板の耐汚染性を表5に示す。また、加熱残分の測定から塗料①～⑤の不揮発残渣を図2に示す。

精油は既存の溶剤よりも不揮発残渣が多かったことから、より多くの成分が残留し塗膜形成や保護機能に影響を及ぼすことが懸念された。しかし、塗料①～③において何れの汚染材料においてもほぼ同じ評価であり、既存の溶剤と比べて耐汚染性は変わらなかった。

2回塗り仕上げた塗料④～⑥は概ね点数は高く、耐汚染性は市販品に比べて同等以上であった。また、塗料④及び塗料⑤(下塗用)の精油含有量は20%であり、他の溶剤を混合して使用したが、これによる塗膜性能に影響はみられなかった。

表5 各塗料の耐汚染性

塗料種類	各汚染材料による評価の点数			
	しょうゆ	ソース	オリーブオイル	エタノール
塗料①	2	3	4	4
塗料②	2	3	5	5
塗料③	2	3	5	5
塗料④	5	5	5	5
塗料⑤	5	5	4	5
塗料⑥	5	5	5	5
塗料B	5	5	5	4
塗料C	3	4	5	5

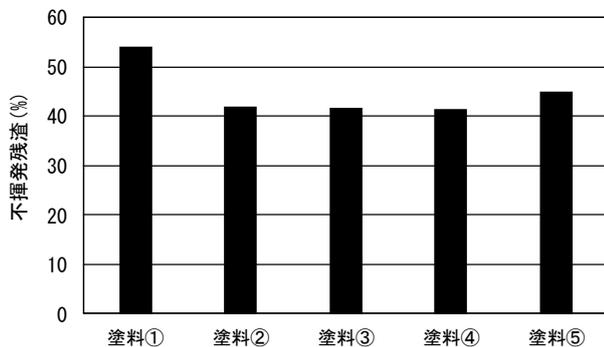


図2 各塗料の加熱残分

試作及び市販品の塗料を用いて作製した塗板の耐摩耗性を図3に示す。JIS K 5961の耐摩耗性の基準(摩耗減量が15mg以下)を僅かに満たさないものもみられたが、何れの塗料もJIS K 5970の耐摩耗性の基準(摩耗減量が30mmg以下)に適合した。塗料①の摩耗減量は塗料②及び塗料③よりも僅かに小さかつ

たことから、既存の溶剤と比べて精油を用いても耐摩耗性は変わらず、塗膜への悪影響を与えなかった。また、これらの塗装のうち、塗料⑥が最も耐摩耗性が高かった。

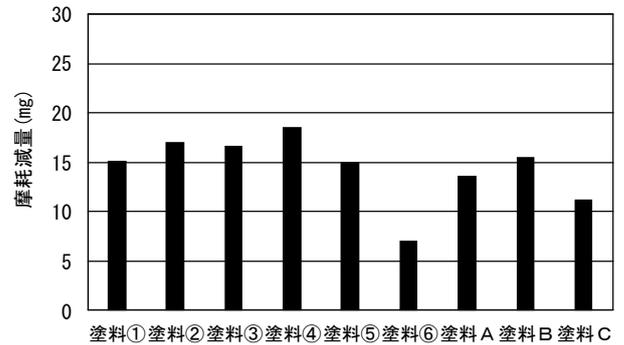


図3 各塗料の耐摩耗性

試作及び市販品の塗料を用いて作製した塗板の滑り抵抗性を図4に示す。精油を添加した塗料④～⑥の最大静止摩擦係数は比較用の市販品に比べて同等以上で、塗料⑤が最も大きかった。

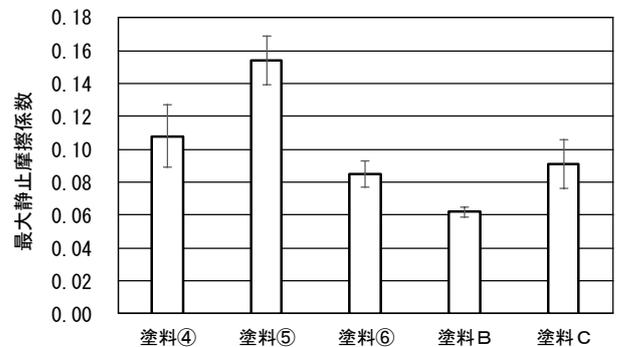


図4 各塗料の滑り抵抗性

4. まとめ

亜麻仁油を主剤とした木部保護塗料に既存の溶剤に替えてヒノキ精油を用いた塗料を試作した。一次試作塗料では既存の溶剤と比較して、ヒノキ精油の溶剤としての適合性を評価した。精油含有塗料は既存の溶剤と同等の粘性であったことから塗装作業性は変らなかった。また、作業時に精油の香りが心地良く感じられた。塗装品の耐汚染性や耐摩耗性の塗膜性能も既存の溶剤と同等であった。

二次試作塗料では市販の植物系オイル塗料と比較した。精油含有塗料は今回用いた市販品と同等またはそれ以上の塗膜性能(耐汚染性、耐摩耗性、滑り抵抗性)が得られた。一方でTI値が1.0であり、タレなど塗装作業時に注意が必要である。

参考文献

- 1) 伊藤国億ほか:香りですらぐ木工製品の開発
木材乾燥における排出蒸気中の精油成分について,
岐阜県生活技術研究所研究報告, No.18,
pp.5-9, 2016.
- 2) 伊藤国億ほか:香りですらぐ木工製品の開発
(第3報) 木材乾燥における排出蒸気中の精油
回収について, 岐阜県生活技術研究所研究
報告, No.20, pp.5-8, 2018.
- 3) 伊藤国億ほか:香りですらぐ木工製品の開発
木材乾燥による精油回収実証試験について,
岐阜県生活技術研究所研究報告, No.22,
pp.1-3, 2020.
- 4) 伊藤国億ほか:香りですらぐ木工製品の開発
(第2報) ヒノキ精油添加剤の消臭効果, 岐阜
県生活技術研究所研究報告, No.19, pp.5-8,
2017.
- 5) 伊藤国億ほか:香りですらぐ木工製品の開発
木工品の芳香性向上, 岐阜県生活技術研究所
研究報告, No.21, pp. 5-8, 2019.

家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化 曲げ木可否判定

石原智佳*¹, 三井勝也*¹, 藤巻吾朗*¹, 成瀬哲哉*¹

Approaches to Making Smart of the Wood Bending Process Judgment of Bending Wood

ISHIHARA Chika*¹, MITSUI Katsuya*¹, FUJIMAKI Goroh*¹, NARUSE Tetsuya*¹

曲げ木加工において頻発する不良現象のひとつに、背板や座面の板材の引張側(帯鉄と接する側)で生じる微細な割れがある。これは、曲げ変形時に曲げ木にかかる引張応力を帯鉄側へ十分に移行できていないことに起因すると判明した。そこで、本研究では、引張限界以下の伸びに抑制するための帯鉄の条件設定や、曲げ半径に見合った材厚さの組み合わせ等、デザインや曲げ不良の改善に有効であると思われる曲げ木可否判定のプログラムを作成した。

1. 緒言

乾いた木材は曲げにくい、水蒸気で蒸すこと(蒸煮処理)によって高含水率・高温の状態にすると軟化して曲げやすくなる。この性質を活かした加工には「曲げ木」と呼ばれる方法があり、飛騨地域では1920年頃からこの技術を取り入れた木製の家具づくりが始まった。一般的な工程は、蒸煮した木材に帯鉄と呼ばれる金属を当てて曲げ、型にはめたまま乾燥させて形状を固定する流れから成る。

一般的に材料を曲げる場合、曲面となる上下面の距離の中心軸は伸びも縮みもしない中立軸となる。中立軸を挟んだ一方は、圧縮応力を受けて縮み、他方は引張応力を受けて伸びる。

木材は引張応力に弱く、蒸煮処理直後の材については、縦引張試験を行った結果¹⁾より、樹種間の多少のばらつきはあるものの、最大引張変形は1.0～2.0%であることが判明した。曲げ木加工時の帯鉄の役割は、木材中心部にある中立軸をより下端側(帯鉄側)に移行させ、引張応力を受ける領域を減少させて、圧縮応力を受ける領域を増加させることである。しかし、現状では引張側に微細な割れ破壊が生じることが頻出し、この原因が引張限界以上に伸びることを前報¹⁾で報告した。

そこで、良好な曲げが可能な形状を推定するための算出式を導いた。従来あった曲げ指標^{2, 3)}は、蒸

煮した試験体を縦圧縮破壊試験に供して得た圧縮ひずみをもとに算出されたものであり、曲げ木加工において引張変形がゼロとの前提に立ったものであった。そこで、曲げが良好であった場合でも、少なくとも引張限界以内の伸びは生じていることを考慮した判定式¹⁾を新たな指標として示した。

本報告では、新たに提案した曲げ木の指標をより簡易に利用できるための検討を行った。

2. 曲げ木の指標

2.1 縦引張ひずみ限界

前報¹⁾にて示した、縦引張試験に供した5樹種の蒸煮処理直後の材(含水率20%)の最大縦引張ひずみを表1に再掲する。

表1 蒸煮処理直後の縦引張試験の結果

樹種	フナ	ミズナラ	ホワイトオーク	ウォルナット	チェリー
$\varepsilon_{t(Max)}$ *a	0.0204	0.0193	0.0185	0.0180	0.0100

*a : 標点間で破壊した3試験体の平均ひずみ

2.2 曲げ木の可否を判定する基準

一般的な曲げ木加工は、木材を帯鉄に沿わせて曲げるトーネット法と呼ばれる手法で行われているが、現状多く利用されている型(図1)の形状では、木材にかかる引張応力を抑制する効果が低いことが判明

*¹ 試験研究部

した。一因として、木材と帯鉄との間の滑りやすさが考えられる。両者が密着し、一体化することで、引張応力がかかる木材の領域を減少させるという帯鉄の役割が果たされる。そこで、両者間の滑りを抑制させる工夫を施したところ、これまで頻発していた微細な割れをかなり減らすことができた。

そこで、木材と帯鉄が密に一体化していることを前提として、現状の帯鉄での曲げ可否を判定する基準式を示す。

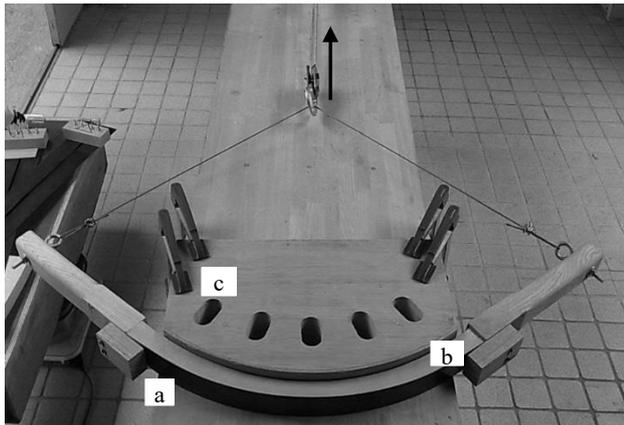


図1 曲げ木の様子

a: 帯鉄、b: 曲げ木用部材、c: 治具

曲げ型の形状として、曲げ木部材と帯鉄の二層構造、あるいは両者の間に鉄汚染を防止する金属を挟む三層構造が一般的であり、これらが一体となっているとみなす模式図を図2に示す。

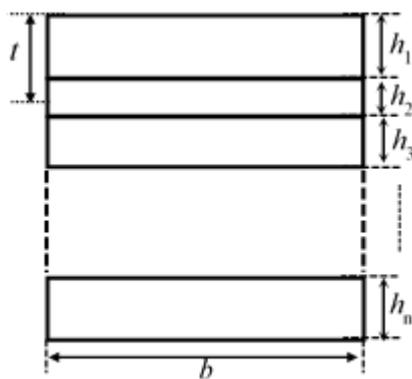


図2 曲げ木と帯鉄の層構造(矩形断面)

h : 各層の厚さ、 b : 各層の幅、

t : 1層目(木材)の上端部から

中立面までの距離

また、 t を算出する一般式は式(1)のとおりである。

$$t = \frac{\sum_{i=1}^n b_i E_i \left(h_i^2 + 2h_i \sum_{i=1}^{n-1} h_i \right)}{2 \sum_{i=1}^n b_i E_i h_i} \quad (1)$$

また、 E は各層部材の曲げ弾性率である。

次に、一般式をより簡易に用いるために、2層及び3層構造の場合の t の算出式をそれぞれ、式(2)、(3)に示す。

$$t = \frac{b_1 E_1 h_1^2 + b_2 E_2 h_2 (2h_1 + h_2)}{2(b_1 E_1 h_1 + b_2 E_2 h_2)} \quad (2)$$

$$t = \frac{b_1 E_1 h_1^2 + b_2 E_2 h_2 (2h_1 + h_2) + b_3 E_3 h_3 (2h_1 + h_3) + 2b_3 E_3 h_3 h_2}{2(b_1 E_1 h_1 + b_2 E_2 h_2 + b_3 E_3 h_3)} \quad (3)$$

応力がかからない中立面が材下端部に近いほど、引張割れを防ぐことが可能である。この材下端部に生じる引張ひずみ(ϵ_t)も式(4)から推測できる。

$$\epsilon_t [\mu ST] = \frac{(t-h_1)}{r} \times 10^6 \quad (4)$$

ここで r は曲げ半径である。この式から算出する値が表1に示した引張限界($\epsilon_{t(Max)}$)を超えないことが割れ防止に重要である。また、引張ひずみは元の長さ(l_0)に対する伸び量(Δl)の比であり、式(5)のように表せる。

$$\epsilon_t = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (5)$$

式(5)はまた、材厚さ(s)と曲げ半径(r)の関係式に換算でき、引張割れが生じにくい条件の推定式(6)を導くことができます。すなわち、

$$\frac{s-t}{r+t} < \epsilon_{t(Max)} \quad (6)$$

ここで、これまでの式を用いて算出される現状を表2に示す。なお、一体化しているとみなす構造は、木材と厚い鋼材帯鉄の間に、鉄汚染を防止するために薄い金属を挟む三層構造である。この場合、木材下端部の引張ひずみは $-12667 \mu ST$ (全長の1.3%相当の伸び)になると推測される。しかし、実測では、曲げ木部材の両端部が圧縮変形により縮み、材中心

表2 曲げ木の各種条件と生じる引張ひずみ

	材料	厚 m m	E GPa	幅 mm	r mm	t mm	ϵ_t μ ST
層1	木材	35	5	125	266	31.6	-12667 1.3% 相当
層2	薄金属	1	70				
層3	鋼材	2	205				

部分は全長の1.5~2%伸び、全体として、平均的に1.2%伸びていることが明らかになった。このように、材下端部全体が様に伸長変形するのではないことから、完全に一体化させることができていないことが推定された。さらに、木材と帯鉄の間の滑りを抑制した結果、引張割れが大幅に低減できたことから、一体化により帯鉄が十分に機能するといえる。

また、木材の厚さと帯鉄の厚さのバランスによっては、引張応力を受ける木材部分の領域が多くなってしまふことによる引張破壊も生じてしまう。そこで、曲げ木の仕上がりを改善するための対策を講じやすくするために、式(6)から、2層構造の曲げ可否判定式を導いた。その際、材厚さsをh₁とし、各層の幅は同一のbとした。すなわち、

$$(1 - \epsilon_t)E_1h_1^2 - (1 + \epsilon_t)E_2h_2^2 - 2\epsilon_t(rE_1h_1 + rE_2h_2 + E_2h_2h_1) < 0 \quad (7)$$

さらに、3層構造の場合は、次式のとおりである。

$$(1 - \epsilon_t)E_1h_1^2 - (1 + \epsilon_t)E_2h_2^2 - (1 + \epsilon_t)E_3h_3^2 - 2(1 + \epsilon_t)E_3h_3h_2 - 2\epsilon_t \begin{pmatrix} rE_1h_1 + rE_2h_2 + rE_3h_3 \\ + E_2h_2h_1 \\ + E_3h_3h_1 \end{pmatrix} < 0 \quad (8)$$

式(7)、(8)を満たすように、帯鉄の厚さや金属の種類を調整することで、現状の帯鉄では割れ不良が生じてしまう曲げ木でも改良できることも製造現場にて確認した。

また、これらの式に基づき曲げ木の可否判定を行えるように、図3に示すプログラム(2層構造とみなした例)を作成した。また、図4のように、曲げ半径と材厚さの組み合わせに対して、判定値を認識できる表現も可能である。このグラフでは判定値が負の値になる組み合わせが曲げ木可能といえる。

以上のように、引張割れを抑制することで、曲げ木が良好になる傾向が認められ、本報告ではそのための条件設定が容易になる手法を確立した。引き続き、利用頻度が高い樹種に対して、含水率をパラメータとして、曲げ弾性率及び、引張限界の測定を行い、データベースを整えていくこととする。

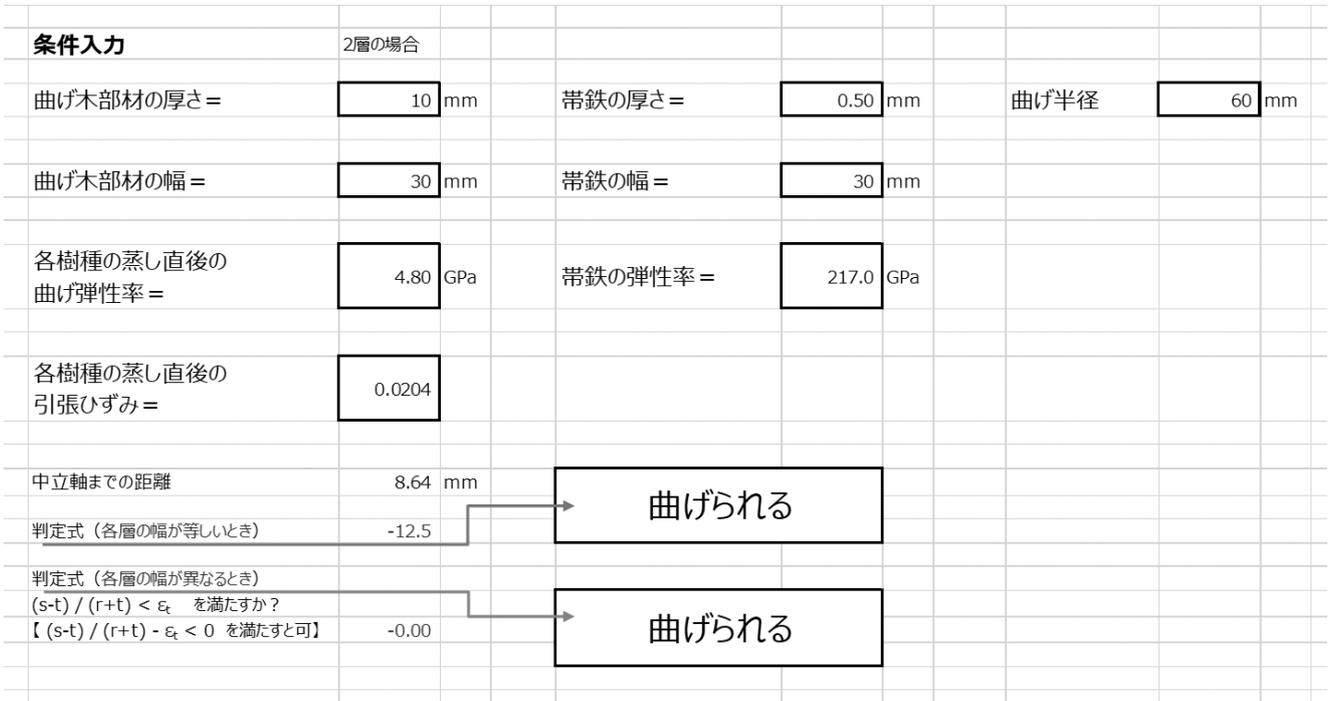


図3 曲げ木可否判定プログラム

材厚と曲げ半径ごとの可否判定
判定値が0より小さい場合が可

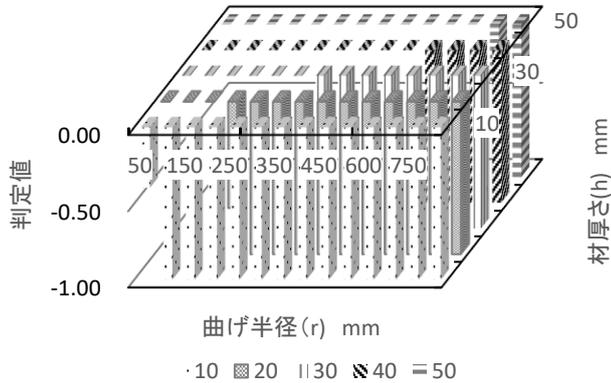


図4 曲げ半径と材厚さの組み合わせと
曲げ可否判定値

3. まとめ

背板や座板の曲げ木加工において頻発する微細な割れが、引張限界以上の伸びが原因であることから、引張限界以下に抑制するための材厚さと曲げ半径の関係を導く手法を検討した。

その結果、曲げ木可否判定プログラムにより、判定値が負になると曲げ木が可能となる手法を確立した。

参考文献

- 1) 石原智佳ほか:家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化 曲げ木における不良原因と対策, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.9-11, 2019.
- 2) 田中重盛:南方材の曲げ加工に関する研究(第1報), 岐阜県工芸試験場業務報告, pp.18-22, 1975.
- 3) 田中重盛, 南方材の曲げ加工に関する研究(第2報), 岐阜県工芸試験場業務報告, pp.16-21, 1976.

木質パネルのたわみ制御に関する研究（第3報）

木質パネル構成の検討支援ツールの提案

今西祐志^{*1}，森茂智彦^{*1}

Study on Deflection Control of Wood Panel (3) A Tool to Assist Examination of the Composition of Wood Panel

IMANISHI Hiroshi^{*1}，MORIMO Tomohiko^{*1}

フラッシュ構造の木質パネルの構成を検討するための支援ツールとしてウェブアプリケーションを作成した。携帯端末のみで運用でき、現場での活用が期待できる。計算値は過去の実験結果とよく一致したものの、木質部材の弾性率の分布には幅があるので、安全率を1.2程度に設定してツール内の弾性率の参考値を使うような運用が適当であると推察された。

1. 緒言

フラッシュ構造の木質パネルは、同一寸法の板材では軽量であり、反りが生じにくい点が特長である。その主な用途はテーブル天板や収納家具の棚板で、使用時には物を載せた時に生じるたわみが十分に小さいことが求められる¹⁾。木質パネルの寸法は使用者個々の環境サイズにおいて様々で、数種類の部材を組み合わせて木質パネルを製作するメーカーは、要求性能を満たすための部材の寸法や数量、配置などの構成を検討する目的で、試作と評価試験を度々行っている。本研究では、木質パネルの部材構成の検討をより効率的に行うことを支援するための簡便な手法の提案を目指す。

前報²⁾では、木質パネルに等分布荷重が作用した際に生じるたわみを簡便に求める計算シートを作成し、テーブル天板や棚板に関するJIS¹⁾に依拠した設計内容の検討ができる手法を提案した。しかしながら、入力手順が分かりにくく、計算に必要な物性データの取得に問題があるなど、現場での活用に難点があった。本報では、それらの難点を踏まえ、木質パネルの構成検討を支援するツールとしてウェブアプリケーションを作成したので報告する。

2. 検討支援ツールの概要

本ツールは、フラッシュ構造の木質パネルが四辺単純支持で等分布負荷を受ける際の中央たわみを算出するウェブアプリケーションである。図1にツールの表示画面を示す。木質パネルの構成のうち、入力する情報をたわみ変形との関連が特に大きい要素である長手方向の部材（縦棧）と面材に絞ることで入力作業を簡素化した。縦棧については寸法と弾性率、数量を入力し、位置の情報は考慮しない。縦棧は3種類まで入力できる。面材については厚さと弾性率を入力し、積層順を正しく入力する必要がある。面材は4枚まで入力できる。部材の弾性率については、入力作業を補助する目的で、当所で測定した値を参考値として示してあるが、その注意点については後述する。必要な情報を入力して計算を実行すると、100kgf/m²の等分布負荷時のたわみとたわみ率が計算され、テーブル天板及び棚板としての使用についてJIS¹⁾に依拠した検討ができる。

3. ツールによる計算値と実験値の比較

3.1 部材の弾性率

木質パネルの部材として使用される木質材料のうち、主な4種について弾性率を測定した結果を図2に示す。測定数は各材料で11～28である。パーティクルボードでは弾性率の分布の幅が比較的小さく、平均値を基準として最大値は+16%、最小値は-12%であったが、合板の場合には+73%と-49%と、弾性率の分布の幅が大きい結果となっ

^{*1} 試験研究部

た。弾性率と密度との関係では、MDFと合板については両者の高い相関関係が見られた一方、パーティクルボードやLVLでは相関が低かった。木質材料の密度と強度との間に相関関係があることは一般的に知られている³⁾ものの、材料によって相関に異なる傾向があることには注意が必要である。本ツールでは、活用する際の利便性を向上させるため、計算に必要な情報である弾性率の参考値として、当所での測定結果の平均値を示してある。これらの値を使って得られる計算結果は、各部材の弾性率のばらつきに由来する、ある程度の幅を内在している点に十分留意する必要がある。

木質パネルのたわみ計算

木質パネルに等分布荷重が加わった際の中央たわみを計算します。
以下の入力フォームに数値を入力して計算を実行すると、テーブル天板または棚板としての使用をJISに照らして検討できます。

外形寸法について
「長さ」と「幅」を入力して下さい。

木質パネル
長さ: 1000 mm
幅: 1000 mm

縦桟について
パネルの長手方向に配置されている材(縦桟)の「幅」、「弾性率」を入力して下さい。
同種の縦桟はまとめて入力し、併せてその「本数」を入力して下さい(縦桟は3種類まで入力できます)。

縦桟1: 幅: 30 mm, 弾性率: 3.3 GPa, 本数: 3
縦桟2: 幅: mm, 弾性率: GPa, 本数: 本
縦桟3: 幅: mm, 弾性率: GPa, 本数: 本

面材について
面材の「厚さ」と「弾性率」を順番に入力して下さい(面材は4枚まで入力できます)。
併せて縦桟の「高さ」を入力して下さい。

(参考) 部材の物性データ

材料	密度 [g/cm ³]	弾性率 [GPa]
MDF	0.68	3.4
合板	0.54	5.6
パーティクルボード	0.68	2.9
LVL	0.56	6.9
メラミン板	1.4	14
角鋼管 (角寸20x20角)	0.95	32

面材1: 厚さ: 3 mm, 弾性率: 4.5 GPa
面材2: 厚さ: mm, 弾性率: GPa
面材3: 厚さ: mm, 弾性率: GPa
面材4: 厚さ: 3 mm, 弾性率: 4.5 GPa

縦桟 高さ: 12 mm

スパンについて
長手方向の支持点間の「長さ」を入力して下さい。
長さ: 970 mm

計算

たわみ: 7.1mm
たわみ率: 0.73%

図1 木質パネル構成の検討支援ツールの概要

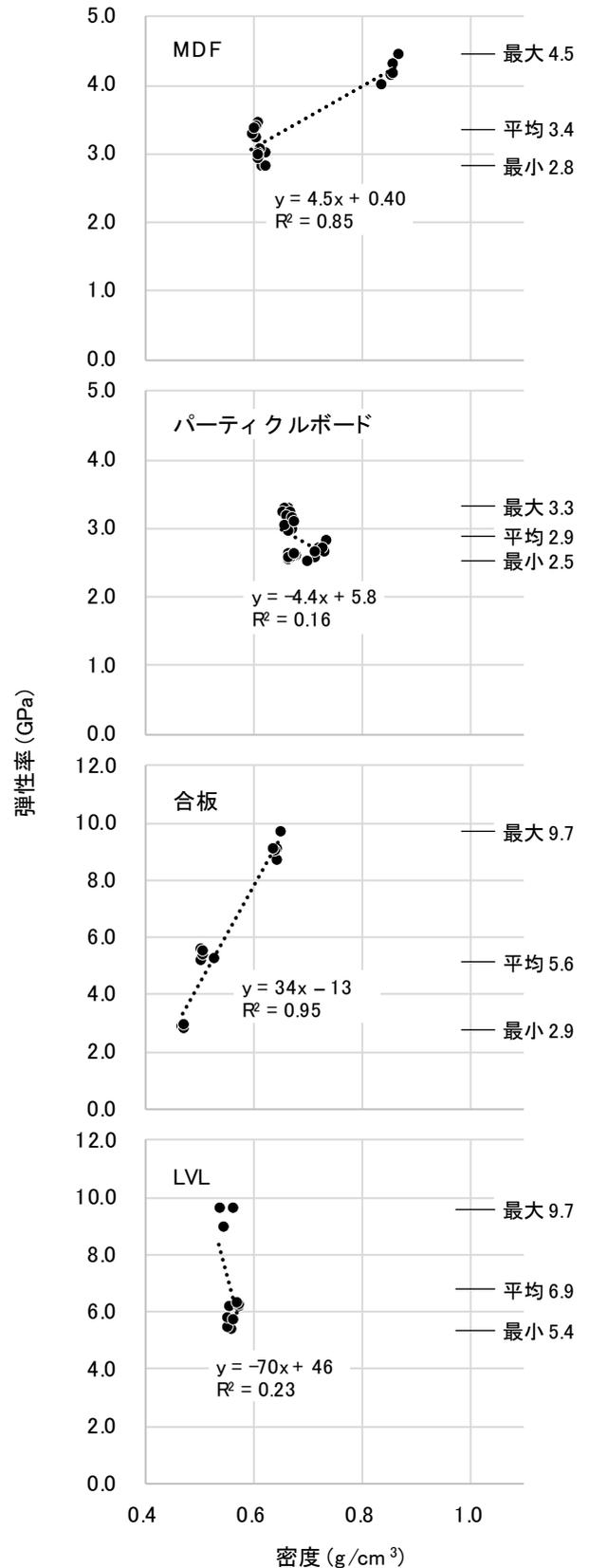


図2 木質材料の弾性率

3.2 ツールによる計算値に部材の弾性率が及ぼす影響

本ツールで木質パネルのたわみを計算した結果を図3に示す。計算対象は、縦棧にパーティクルボード、面材にMDFを用いた木質パネル⁴⁾である。計算値A~Cはツールによる計算値で、算出の際に使用した弾性率はそれぞれ以下の通りである。

計算値A：当所での測定値の平均値（参考値としてツール内に記載）。

計算値B：当所で測定した最小値（図2参照）。

計算値C：当所で測定した最大値（図2参照）。

計算値Aと実験値を比較すると、計算値Aは実験値よりも全体的に大きく、スパンが大きいほど両者の差が大きくなる傾向にあったが、スパン1270mmでの計算値Aの実験値との乖離は13%であった。

計算値A~Cを比較すると、計算値Aに対して、計算値Bは+20%、計算値Cは-23%となっている。一方、部材であるMDFの弾性率の分布の幅は、平均値を基準として最大値は+30%、最小値は-18%で、同様にパーティクルボードについては前述のように、最大値は+16%、最小値は-12%である。このように、木質パネルのたわみ計算結果のばらつきは部材の弾性率のそれと極端な差はなく、同程度のものであることが分かる。本ツールを活用する上で部材の弾性率を正しく把握することは重要であるが、参考値として示した平均値によっても、例えば安全率を1.2程度に決めて計算することで、検討支援ツールとしての運用は十分に可能であると考えられる。

4. まとめ

テーブル天板や棚板の用途を想定した木質パネルの構成を検討するための支援ツールを作成した。携帯端末のみで運用でき、入力作業における難点を踏まえて工夫を施したウェブアプリケーションで、現場での活用が期待できる。計算値と過去の実験結果とはよく一致したものの、木質部材の弾性率の分布には幅があるので、ツール内に示した弾性率の参考値を使う際には、安全率を1.2程度に決めて計算することが適当であると推察された。

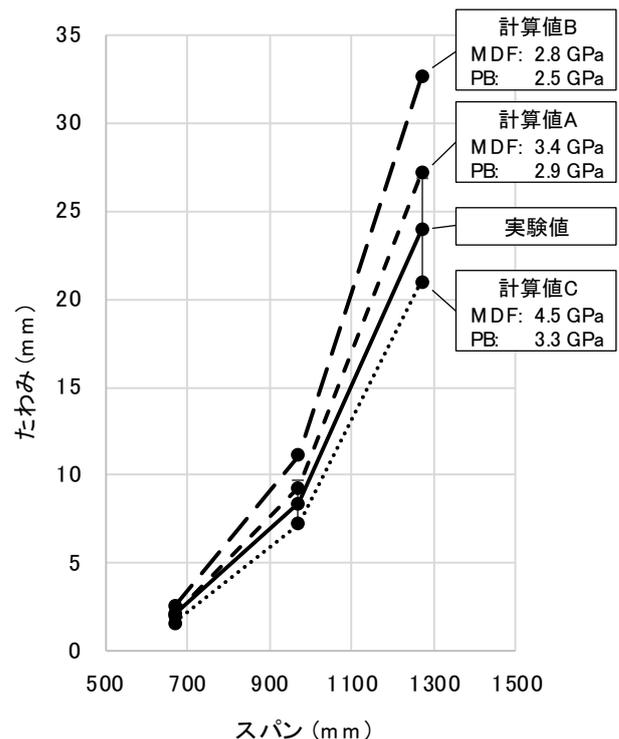


図3 ツールによる計算結果と実験値の比較

参考文献

- 1) JIS S 1031:2016, オフィス家具—机・テーブル; JIS S 1033:2015, オフィス家具—収納家具.
- 2) 今西祐志: 木質パネルのたわみ制御に関する研究 (第2報) 簡便なたわみ計算手法の提案, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 21, 2019.
- 3) 例えば, 大熊幹章ほか: 木材の工学, p55, 文永堂出版, 1991.
- 4) 今西祐志ほか: 木質パネルのたわみ制御に関する研究 (第1報) 有限要素法によるたわみ変形解析, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 20, 2018.

介護ニーズに基づくポジショニング用品の開発 特別養護老人ホーム入居者の仰臥位調査

宮川成門*1, 藤巻吾朗*1, 山口穂高*1

Development of Positioning Cushion Based on Nursing Care Needs Study on Supine Position of Elderly Person in Nursing Home

Miyagawa Naruto*1, Fujimaki Goroh*1, Yamaguchi Hodaka*1

特別養護老人ホーム入居者の介護用マットレス使用環境下における臥位姿勢を調査した。仰臥位時の体圧について、接触面積を背・臀・脚部に分割し考察したところ、入居者は健常者に対して臀部の接触面積の占める割合が小さい一方で、30mmHg以上の接触面積の全体に占める割合が大きくピーク圧も高かった。このことは筋肉等の減少による仙骨部の突出と除圧のためのポジショニングの必要性を示していた。事例観察においても膝屈曲による骨盤の後方回転、日中のベッドでの半座位姿勢、不十分な半側臥位など、仙骨部への圧力負担が懸念された。またポジショニングクッションの開発にあたり、柔らかさだけでなく形状も考慮して身体を支持する案が必要と考えられた。

1. 緒言

当所では特別養護老人ホーム(以下特養)からの依頼を受け、入居者のQOL改善研究会(2002-2018年度、以下研究会)を実施してきた。この研究会を行うことで様々な製品ニーズを取得し、新製品開発へ繋げてきた。これまでは椅子など座位に関する製品を開発してきたため、本開発においては臥位に対する課題について検討することとした。

本活動における臥位姿勢の調査は延べ90名を超えたが、主な課題は、半座位や仰臥位における仙骨や腰・胸椎部の除圧、側臥位における大転子・腸骨稜部の除圧であった。改善方法については体圧分布センサを利用しながらマットレスの選定やポジショニングについて特養職員(看護師・理学療法士)と検討した。特に仰臥位時や半座位時も常に接している仙骨部の除圧は検討の頻度が高かった。筋肉や脂肪の減少、膝の屈曲も伴うため、種々のポジショニング製品を使いつつも除圧の再現性に高い技術を要した。これら事例の中で当所が保有する身体形状データを用いて仰臥位時の腰・臀部を支持し、容易に除圧が可能なポジショニング用品の開発を構想した。

そこで本報においては、姿勢改善活動における仰臥位の体圧測定結果と、活動内の事例観察から得られた知見を報告する。

2. 調査方法

2.1 一般成人の仰臥位体圧測定(比較参考)

特養入居者との比較用に、一般成人が介護用マットレスに寝た際の体圧分布結果を調査した(使用装置: XsensorX3, 測定範囲: 10~200mmHg)。データは研究会メンバーにおいてマットレス選定等の際に測定したものをを用いた。被測定者は4名(男性2、女性2)、マットレスは14製品、設置状態は水平、測定件数は18測定だった。なお、マットレスは2製品がエア、他は1~4層構造のウレタンフォームであったが、表層は低硬度、加えて凹凸等の形状カットが施されたものなどで一定の厚みを有する介護用の製品であった。被測定者および使用マットレスが様々な状態のデータの集計であるため、介護用マットレス全般による傾向として考えた。

2.2 入居者の仰臥位体圧測定

特養入居者の体圧について介護用マットレスに寝た際の体圧分布結果を調査した(装置前記に同じ)。データは研究会において随時入居者を測定したものをを用いた。被測定者は19名(男性8、女性11、85.4±8.7歳)、マットレスは14製品、設置状態は水平だが一部ポジショニングクッションを使用している場合はセンサシート下に敷いた。測定件数は37測定だった。同様に被測定者および使用マットレスが様々な状態のデータの集計であるため、施設で用いていた介護用マットレス全般による傾向として考えた。

*1 試験研究部



図1 研究会ポジショニング検討風景

表1 測定数等の内容[一般成人]

被測定者 [一般成人]	女性2名/年齢40代/身長155-160cm/標準的体型 男性2名/年齢30代・40代/身長175cm/標準的体型
マットレス ()内 製品種類	計14種類 エアマット(2)/ウレタンマット厚さ13cm(1), 12.5cm(1), 12cm(1), 11cm(1), 10cm(3), 9cm(1), 7.5cm(1), 厚さ記録なし(3)
測定数	18件(4名による合計件数)

表2 測定数等の内容[入居者]

被測定者 [入居者]	19名(男性8名、女性11名)/年齢85.4±8.7 体型記録なし(ただし肥満型はなし) 全員歩行なし(日中車いすあり12名、ベッドのみ7名) 臥位姿勢時の膝屈曲あり10名、なし9名
マットレス ()内 製品種類	計14種類 エアマット(1)/ウレタンマット厚さ15cm(1), 13cm(1), 12cm(2), 11cm(1), 10cm(2), 9cm(1), 8cm(1), 厚さ記録なし(4)
測定数	37件(19名による合計件数)

2.3 入居者の事例観察及びヒアリング

製品コンセプト立案の情報として、臥位姿勢の状態やポジショニングクッションの課題など、目視による観察や施設職員とのヒアリングを参考に考察した。その他、完全側臥位姿勢の体圧分布測定を集計については、研究会において統制がある記録が少なかつたため、実施してきた事例の観察により傾向を考察することとした。

3. 結果と考察

3.1 一般成人の仰臥位体圧測定結果

測定した一般成人の体圧分布図の例を図2に示す。これにより身体の接触領域について、背部(頸部下～腸骨稜上)、臀部(背部終わり～大殿筋が確認できる範囲)脚部(臀部終わり～足先までの範囲)に分類して確認した。各部面積の平均と標準偏差を図3、ピーク圧力値の平均と標準偏差を図4に示す。

接触面積の比率は、背部4:臀部5:脚部1となり、臀部は大殿筋により広く接触していた。脚部は主に下腿三頭筋と踵骨の接触のみであり、大腿部裏面については、厚みのある大殿筋と下腿三頭筋の両間にあることで接触が見られなかった。

ピーク圧力値は、背部(主に肩甲骨)と臀部(主に

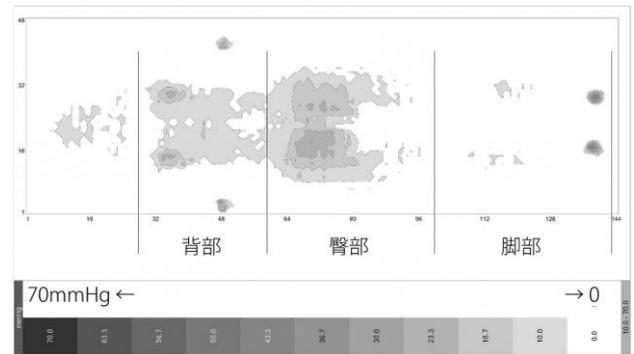


図2 体圧分布図の例[一般成人:仰臥位]

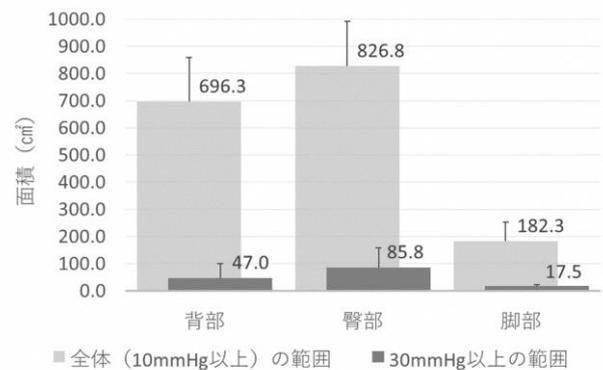


図3 各部面積の平均[一般成人:仰臥位]

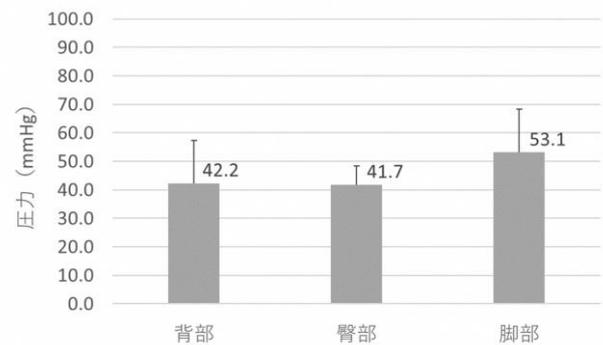


図4 各部ピーク圧力値の平均[一般成人:仰臥位]

大殿筋・仙骨)が同等で、脚部(踵骨)がやや高かった。臀部については40mmHg程度であり、褥瘡要因の目安とされる毛細血管が閉塞する30mmHg前後を基準とすると、これより低値を示した製品は無かった。ただし30mmHg以上の面積の割合は小さいため、良好な除圧状態と考えられた。

3.2 入居者の仰臥位体圧測定結果

測定した入居者の体圧分布の例を図5、各部面積の平均と標準偏差を図6、ピーク圧力値の平均と標準偏差を図7に示す。

接触面積の比率は、背部5:臀部4:脚部1となり、歩行がないことによる大殿筋の減少が、臀部の割合

の小ささに影響したと考えられた。脚部は下腿二頭筋の減少の他、膝屈曲を生じている場合もあることから、腓腹筋の接触は見られず、主に踵骨のみの接触となっていた。

ピーク圧力は臀部(主に仙骨や腸骨)がやや高く、背部(主に肩甲骨や円背による胸腰椎)と脚部(主に踵骨)が同等であった。臀部については70mmHg近くあり、30mmHg以上の接触面積の割合も大きくなった。このことは、骨の突出によるピーク圧の上昇と、筋肉量の減少による低圧力値の接触面積の減少を表していた。これらの調査結果から、介護用のマットレスを用いた環境であっても、高齢者は皮膚への圧力の負担が大きくなっていることが分かった。

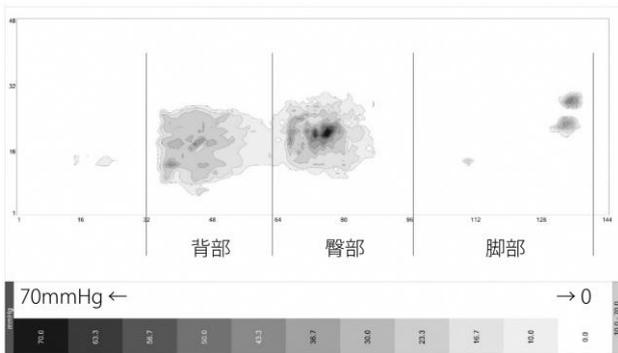


図5 体圧分布図の例[入居者:仰臥位]

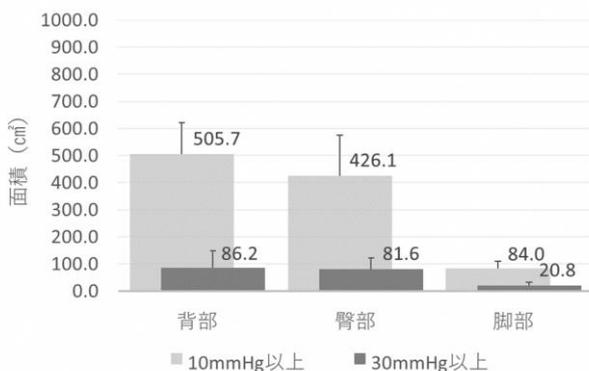


図6 各部面積の平均[入居者:仰臥位]

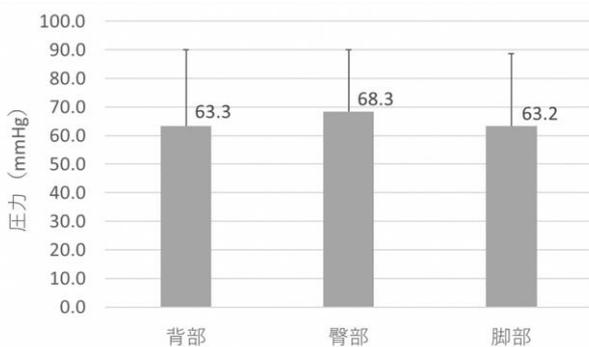


図7 各部ピーク圧力値の平均[入居者:仰臥位]

3.3 事例観察からの考察

3.3.1 姿勢について考察

前記で臀部のピーク圧の上昇について注目したが、関連することに仰臥位時の膝屈曲姿勢(図8)が挙げられた。今回の体圧測定の実例では半数以上に膝屈曲が見られた。膝の屈曲が大きくなれば骨盤が後方回転し、大腿部の重量を臀部で支えるため、仙骨部が強くマットレスに接することが考えられた。また、日中の休息時など、ベッド上において半座位へ姿勢変換する例が多いが、この場合も仙骨部は常にマットレスに接し続けていることとなる。加えてベッド上での半座位確保には、ギャジアップベッドの背、大腿-腿部の角度調整を用いるが、高齢者は設計値に対して身体が小さい場合や、円背を伴う場合があり、関節位置とベッドの調整位置が合わないという問題もあった(図9)。その他、除圧を目的として半側臥位姿勢(図1)とする場合も多いが、半側臥位のポジショニングが難しく、不十分であれば仙骨部がマットレスに接し続ける心配があった。こうした課題が多いため、仙骨部はベッド上にいる間は、特に注意が必要な部位と考えられた。

完全側臥位については主に大結節・肋骨、腸骨稜、大転子付近の圧力が高くなる。観察してきた事例では臀部周辺の筋肉の減少により腸骨稜、大転子の突出が見られた。測定事例を図10に示す。仰臥位に対して側臥位はマットレスへの接触面積が小さくなることから、特に大転子部のピーク圧力値は仰臥位時の仙骨の圧力値より高くなる傾向があった。そのため長時間大転子や腸骨が接することがないように配慮が必要であった。

3.3.2 ポジショニング用品の課題と検討

介護用マットレス使用環境においても除圧の配慮が必要であることが分かったが、そのためにはクッションを用いたポジショニングが必要になる。クッションをマットレスと身体のすき間に対して適切に設置するためには、クッションの形状が容易に変形することが好ましい。そのため柔らかい材質の製品を用いることになるが、柔らかすぎるものは身体の重みでつぶれてしまい適切な支持が難しく、底つきも生じやすかった。一方でクッションがつぶれないように厚みや反発性を持たせると、マットレスと身体のすき間に上手く入らず無理な姿勢が生じたり、途中でクッションが外れたりする場合があった。仮に適切な支持ができた場合も、ポジショニングの技術が介助者に依存するため、再現性の不安があった。こうした点がポジショニング用品の課題といえた。

以上を経て、適切な身体支持が必要となるポジショニング用品の開発案として、柔らかいクッション、反発性の高いクッションなど、従来の詰め物による軟質

なクッション製品の考え方の延長ではなく、チェアシートに似た考え方(身体の接触面積や骨格を考慮した支持形状+多少のクッション性を加える)を利用できないか検討したい(図 11)。具体的な製品デザインについては、素材検討に加え、当所所有の身体形状データ¹⁾²⁾の活用も有効と考える。



図 8 膝関節の屈曲がある事例



図 9 クッションやタオルによる半座位

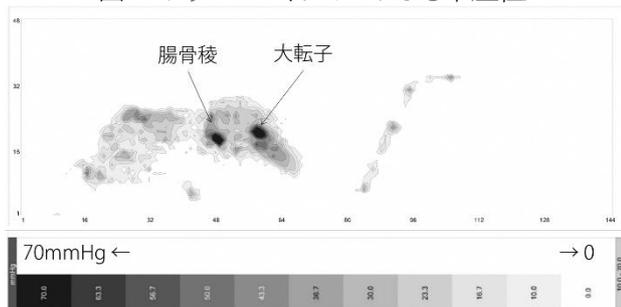


図 10 体圧分布の例[入居者:完全側臥位]



図 11 支持イメージ

4.まとめ

介護用マットレスを使用する特養入居者の仰臥位体圧調査および事例観察の結果を以下にまとめる。

- 一般成人が介護用マットレスを用いた際は、臀部接触面積が全体の 5 割程度だった。またピーク圧の平均が 40mmHg 程度であり、毛細血管が閉塞する 30mmHg 前後を基準とすると、それ以上の面積の割合は小さく、良好な除圧状態と考えられた。
- 入居(歩行が無い)の高齢者は大臀筋減少の影響により、臀部接触面積が全体の 4 割程度だった。ピーク圧は 70mmHg 程度であり、30mmHg 以上の接触面積の割合も大きくなった。このことは、骨の突出によるピーク圧の上昇と、筋肉量の減少による低圧力値の接触面積の減少を表していた。
- 事例観察では、膝屈曲による骨盤の後方回転、日中のベッドでの半座位、不十分な半側臥位など、仙骨部の圧力負担が懸念される頻度が高かった。
- ポジショニングクッションの課題として、柔らかすぎるものは底つき等の課題、厚みや反発性があるものは使用中のずれ等の課題があった。

参考文献

- 1) 藤巻吾朗ほか：自動車シートの座面形状の提案，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 16，pp. 13-16，2014.
- 2) 藤巻吾朗：人間・生活者視点による人にやさしい製品開発（第 2 報）立位・座位姿勢での人体の 3 次元形状，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 10，pp8-10，2008.

日本の伝統的素材を用いた木材の耐久性向上技術の開発（第3報） 圧縮回復量の予測

三井勝也*¹, 伊藤国億*¹

Improvement of Durability of Wood using Japanese Traditional Materials (3) Prediction of Recovery after Compression

MITSUI Katsuya*¹, ITO Kuniyasu*¹

本研究では圧縮回復現象を用いた柿渋の含浸方法について検討するにあたり、圧縮変形量と回復量の関係について明らかにした。高含水率材の水中での横圧縮において、塑性変形と思われる変形量の約83%は回復可能である。残りの約17%は破壊による変形であると考えられた。また、全回復量から予測される重量増加率と実測値を比較したところ、実測値の方が大きくなった。これは、試験体中への含浸だけではなく、表層への被膜分についても評価されたものであると考えられた。

1. 緒言

近年、木材の良さが再認識され、木材の屋外利用が盛んになっている。木材を屋外で利用するには、耐候性や耐腐朽性を向上させる必要があり、その方法として、強固な塗装や木材内腔に薬剤を注入する含浸や、木材の細胞壁中の化学成分を変化させる化学修飾などが多く研究されている¹⁾。

日本では古くから塗料としてベンガラや松煙炭、柿渋が利用されている。現在ベンガラは工業的に製造されているが、古来は天然に産するものを利用していった。松煙炭や柿渋は、現在でも天然のものから製造されている。これらが古くから利用されてきたのは、いずれも無毒でありながら、耐水性や耐光性が高いことにある。また、近年、伝統的材料の見直しが各分野でもなされ、ベンガラについても新規な赤色酸化鉄への研究展開などが行われている²⁾。これまでは、ベンガラや柿渋は塗料としての利用が主であり、木材表面に塗布することにより、木材そのものの耐久性を向上させている。しかし、塗装表面に傷がつくと、木部が表面に現れ、そこから耐水性、耐光性を失い、劣化が進行することが懸念される。そこで、表層処理のみではなく、木材中に浸透させることにより、より耐久性を持った処理材を開発することを目的とし、前報³⁾では圧縮回復を利用した柿渋溶液の含浸方法の基本的知見を得た。

今年度は、圧縮変形量と回復量の関係を明らかにするとともに、回復量からの含浸量の推定を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本研究にはスギ(*Cryptomeria japonica*)心材を用いた。試験体寸法は30mm(L)×30mm(T)×30mm(R)とした。試験体は恒温恒湿室内で平衡含水率に達するまで静置した。含水率は11.7%であった。また、気乾密度は0.35g/cm³であった。

2.2 溶液調製

柿渋には粉末柿渋(三樹嘉七商店,京都府木津川町)を用いた。常温の水700gに対し、柿渋を21g溶解した。

2.3 前処理

気乾状態のスギ心材を80℃の柿渋溶液中に5時間浸漬した。

2.4 圧縮回復試験

図1に示すように柿渋溶液に浸した状態で万能試験機を用い横圧縮した。加圧中に発生する木材からの空気が除荷時に再び木材に引き込まれないようにするため³⁾、柿渋溶液を緩やかに攪拌しながら加圧・除荷を行った。

荷重速度は2.0mm/minとした。指定の変位量まで負荷したのち除荷し、ただちに試験体の寸法および重量を測定した。

*¹ 試験研究部

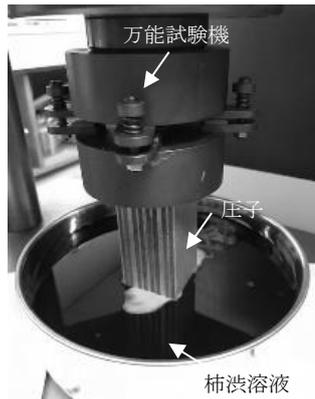


図1 柿渋溶液中での横圧縮試験

3. 結果と考察

木材を横圧縮したときの荷重変位曲線は、試験体の含水率状態で大きく異なる。図2に前報³⁾での結果を再掲する。

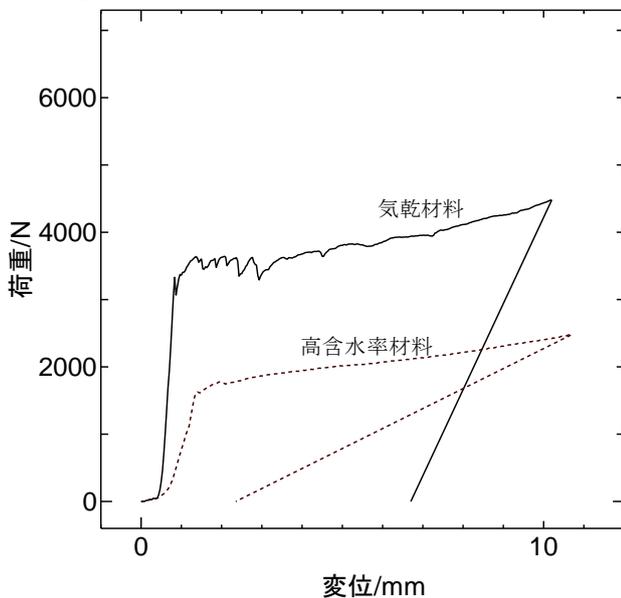


図2 横圧縮試験における荷重－変位曲線（前報³⁾の再掲）
気乾材料 (MC=11.7%)、高含水率材料 (MC=64.5%)

気乾材料と高含水率材料では大きく次の2点が異なる。一つは比例限度荷重が気乾材料の方が大きいこと、もう一点は、ある一定値まで変形させ除荷した時に、高含水率材料の方が大きく戻ることである。前者については、一般的に強度は含水率に依存することから、推測しうることである。その一方、後者については、高含水率材をどの程度変形させると、どの程度回復するのかは不明である。

含水率に依存する荷重の大きさは無視し、変形量のみに着目した場合のモデル的な荷重変位曲線を図3に示す。

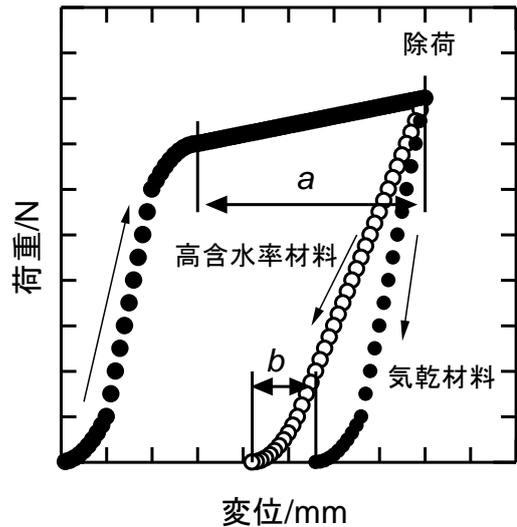


図3 横圧縮変形における荷重変位曲線のモデル図
●: 気乾材料の場合, ○: 高含水率材料の場合, a : 比例限度後の変形量, b : 全体の回復量と比例限度の変形量の差

ここに、●は気乾材料の場合、○は高含水率材料の場合の荷重変位曲線である。図中の a は比例限度を越えた後の変形量、 b は全体の回復量と比例限度の変形量の差を示す。気乾材料は横圧縮変形後、比例限度の変形程度、すなわち、弾性変形による変化量程度のみ回復する。つまり、 b は全回復量と横圧縮の弾性変形量との差である。

図4に弾性変形後の変形量（図3中の a ）と全回復量と弾性変形量の差（図3中の b ）の関係を示す。

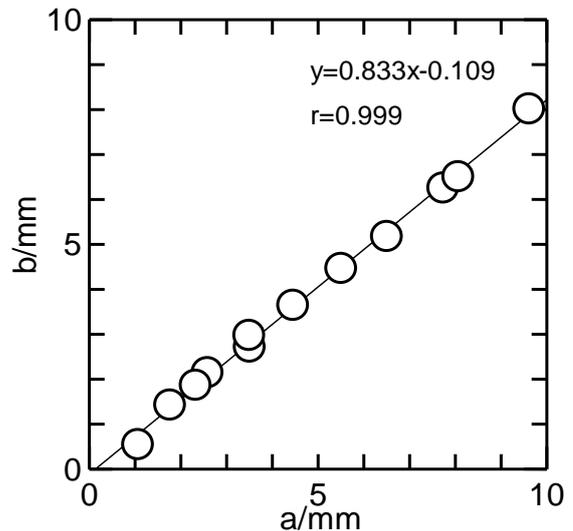


図4 高含水率材の横圧縮試験における弾性変形後の変形量(a)と全回復量と弾性変形量の差(b)の関係

a と b は非常に高い相関($r=0.999$)があることがわかる。荷重変位曲線における弾性変形後のなだらかな領域

は塑性変形を意味する。図4の回帰直線の係数0.833は、横圧縮により引き起こされた塑性変形が水分により回復した割合であり、言い換えれば、変形の約17%は破壊によるものであると考えられる。

水中で横圧縮変形を行い、変形回復時に木材中に溶液が含浸した場合、予測される重量増加率は次の手順によって求められる。

最大吸収可能液体量を $V_{a(max)}$ (mm³)、圧縮面の面積を A (mm²)、全圧縮回復量を R (mm)、空隙率を AS (%)とすると、

$$V_{a(max)} = A \times R \times AS / 100 \quad \dots(1)$$

となる。うち、固体分を S (g)、溶液濃度を c (%)とすると

$$S = V_{a(max)} / 1000 \times c / 100 \quad \dots(2)$$

となる。予想される最大重量増加率を WPG_{pred} (%)、全乾密度を ρ_{oven} (g/cm³)、木材の体積を V_{wood} (cm³)とすると、

$$WPG_{pred} = S / (\rho_{oven} \times V_{wood}) \times 100 \quad \dots(3)$$

となる。

図5に重量増加率の予測値と実測値の関係を示す。すべての範囲において、重量増加率の実測値は予測値より大きくなった。これは、実際の重量増加率は、木材中の空隙にのみ含浸するのではなく、木材表面に被膜を形成するため大きくなったものと考えられる。

4. まとめ

本研究では木材の圧縮回復を用いた柿渋溶液の含浸方法を検討するにあたり、次に2点について検討した。

1) 高含水率材の水中で横圧縮において、塑性変形の変形量と回復量には高い相関があり、変形量の約83%が回復可能であり、残りの約17%については破壊による変形であると考えられる。

2) 全回復量から計算する重量増加率と実測値を比較すると、実測の重量増加率の方が大きかった。これは、木材中への含浸のみならず、表層への被膜分についても評価されたものであると考えられる。

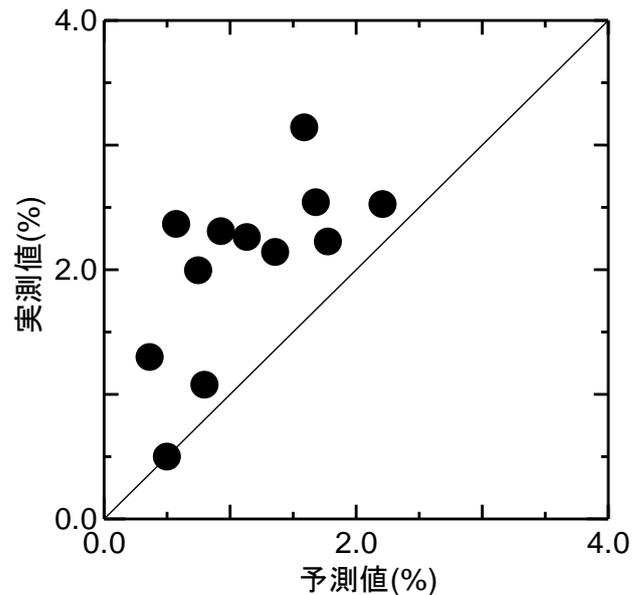


図5 重量増加率の予測値と実測値の関係

参考文献

- 1) Hill, C.: "Wood Modification Chemical, Thermal and Other Processes.", John Wiley & Sons, Ltd. UK, 2006.
- 2) 高田潤, 中西真: 伝統の"ベンガラ"から新規な赤色酸化鉄への研究展開—備中吹屋ベンガラの復元から微生物由来酸化鉄ベンガラへの飛躍—, 材料 66(11), pp.799-803, 2017.
- 3) 三井勝也, 伊藤国徳: 日本の伝統素材を用いた木材の耐久性向上技術の開発(第2報) 圧縮回復を利用した柿渋の含浸, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.23-25, 2019.

中小企業向け生産現場支援IoTシステムの開発

成瀬哲哉*1

Development of IoT System for SMEs

NARUSE Tetsuya*1

県内家具産業の生産現場では、少量多品種を製造するため、ジグを多数有しており、ジグ管理コストの増大に悩まされている。多数のジグを管理するため、IoTを導入するニーズはあるものの、コストや運用面の課題からIoT導入が進んでいない。

そこで、IoT導入の負担軽減を実現するため、RFID、MZプラットフォーム等の既存技術や研究シーズを活用することで、安価で運用性の高いジグ管理システムを実現した。

1. 緒言

県内家具産業の生産現場では、少量多品種を製造するためのジグを多数有しており、ジグ管理コストの増大に悩まされている。多数のジグを管理するため、IoT導入のニーズはあるものの、コスト・運用面の課題からIoT導入が進んでいない。

県内公設試においては、中小企業向けIoTシステムの導入支援を目的に、機器設備の稼働状態計測システムの開発¹⁻³⁾や生産管理システムの構築等を実施し、中小企業に導入されるなど成果を上げている。しかし、これらIoTシステムの導入・運用においては、利用者に高度なプログラミング技術や専門知識を必要とする場合もあり、中小企業の生産現場で独自に運用する際の課題となっている。

そこで、県内家具産業の生産現場において、高度な専門知識がなくとも独自に運用できるよう、既存技術・研究シーズを活用したジグ管理システムの構築を実施した。

2. ジグ管理システムの開発

2.1 ジグ管理システム構築の方針

中小企業において、導入コストを低くできること、高度な専門知識がなくとも運用が可能であることを目的に、ハードウェアには、市販されているシングルボードコンピュータや標準的なPC周辺機器など安価な既製品を用いた。また、ソフトウェアとしては、無償で使用でき、高度なプログラミング知識を必要としないなど導入が容易なソフトウェアを用いてシステム開発

を行った。

また、家具の製造現場に導入することを考慮し、ジグ管理システムの導入により作業員負担が増えないことを念頭に開発を行った。

2.2 RFIDを用いたジグ管理システム

ジグ管理システムには、電磁界や電波などを用いた近距離無線通信によって情報をやりとりするRFID技術を活用した。

RFIDタグを作業員、ジグに取り付け、RFIDリーダーにかざすことで作業員とジグの情報が登録され、作業員はほぼ端末に触れることなく、貸出・返却処理が行なうことができる構成とした。図1にRFIDを用いたジグ管理システムの構成図を示す。

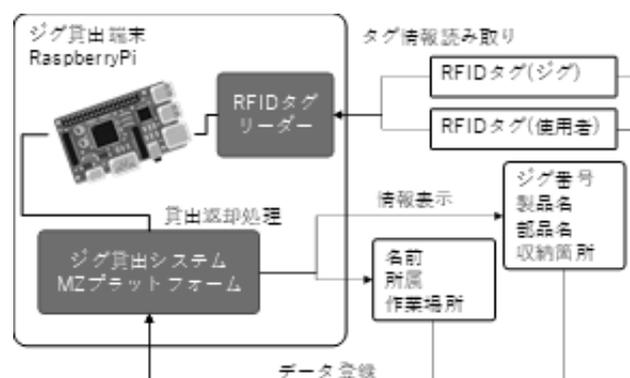


図1 ジグ管理システム(RFID)の構成図

*1 試験研究部

ジグ管理システムのハードウェアは、タッチパネル式液晶モニターとRaspberryPi、RFIDリーダーといった市販品を使用し、数万円のコストで構成している。

旧来のRFIDリーダーは、専用のソフトウェアやドライバーが必要でハードウェアの変更の際には、連携するソフトウェアの変更・修正が必要であった。今回使用したRFIDリーダーはキーボードエミュレーション機能を有しており、このキーボードエミュレーション機能により、OSが標準で搭載しているドライバーのみで動作でき、また、RFIDタグから読み取った情報をキーボードからのデータ入力として取り扱える。図2にジグ管理システム(RFID)のハードウェアを示す。



図2 ジグ管理システム(RFID)

ジグ管理システムのアプリケーションはMZプラットフォーム⁴⁾を用いて作成した。MZプラットフォームは国立研究開発法人 産業技術総合研究所が開発したソフトウェアで、コンポーネントと呼ぶソフトウェア部品を組み合わせることでアプリケーションを構築できることから、必ずしも高度なプログラミング知識を必要としないといった特徴を有している。また、社内システムの構築であれば無償で利用可能であることから中小企業での利用に適したソフトウェアである。

ジグ管理システムのアプリケーションの作成には10種類程度のコンポーネントを総数100程度使用し、図3に示すジグ管理アプリケーションを構築した。



図3 ジグ管理システムのアプリケーション

2.3 バーコードを用いたジグ管理システム

前項でRFIDを用いたジグ管理システムを構築したが、今後のシステム拡張を考慮し、図1のRFID部分を図4に示すようにバーコードリーダーに変更したジグ管理システムを構築した。

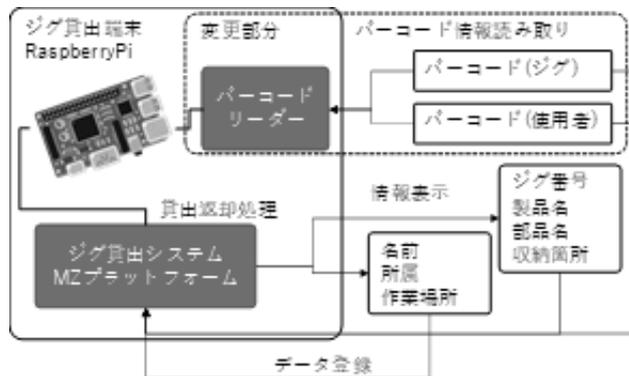


図4 ジグ管理システム(バーコード)の構成図

今回使用したバーコードリーダーは、前項で使用したRFIDリーダーと同様に1万円程度と安価で、また、キーボードエミュレーション機能も有している。このキーボードエミュレーション機能により、読み取ったバーコードデータをキーボードからのデータ入力として取り扱えるだけでなく、ソフトウェアの変更無しに入力機器の変更に対応することが出来た。

実際に用いる際にはバーコードリーダーをスタンドに取り付け、連続読み取り状態にすることで、バーコードをかざすだけで作業者とジグの情報が自動で読み取られる。これにより前項のRFIDリーダーを用いたジグ管理システムと同様に、作業者はほぼ端末に触れることなく、自動で貸出・返却処理を行うことができる。図5にバーコードを用いたジグ管理システムのハードウェアを示す。



図5 ジグ管理システム(バーコード)

2.4 機能比較

家具の生産現場に導入することを考慮し、それぞれRFID機能、バーコード機能有する2種類のジグ管理システムを構築した。

これらのジグ管理システムを、生産現場に導入する上での利点、考慮すべき点を次に示す。

RFIDを用いたジグ管理システム

利点

- ・ 作業者は、ほぼ端末に触れることなく、自動で貸出・返却処理を行うことができる。
- ・ RFIDリーダーを上位機種に変更することで、同時読み取りや長距離読み取りへの対応が可能。

考慮すべき点

- ・ 安価なRFIDタグリーダーでは読み取り距離が数cmと短い。
- ・ RFIDタグが1個100円程度であるため、ジグ・作業が増えるとコストが上がる。

バーコードを用いたジグ管理システム

利点

- ・ 作業者は、ほぼ端末に触れることなく、自動で貸出・返却処理を行うことができる。
- ・ ラベルにバーコード、製品名、部品名、収納場所が印字できるため、持ち出し・返却作業時の目視確認に有用である。
- ・ 安価なリーダーでも読み取り距離が数十cmであることから、読み取り作業が容易である。

考慮すべき点

- ・ 同時読み取り、長距離読み取りは対応できない。

2.5 今後の展開

生産現場のジグ収納場所は、工場内1ヵ所ではなく複数箇所に設置されている。図6に示すように、本研究で開発したジグ管理システムをジグ貸出端末として各所に設置し、複数のジグ貸出端末をネットワークで一元管理できる管理システムへの拡張を計画している。

ジグ管理システム全体のアプリケーションはMZプラットフォームで拡張・作成し、データベースはオープンソースソフトウェアのMySQLを利用する。一元管理アプリケーション、データベースをインストールするハードウェアは既存のPCを利用できる。このため、複数のジグ貸出端末を含むシステム全体で十数万円と安価に構成することができ、導入コストを低減することが可能と考えられる。

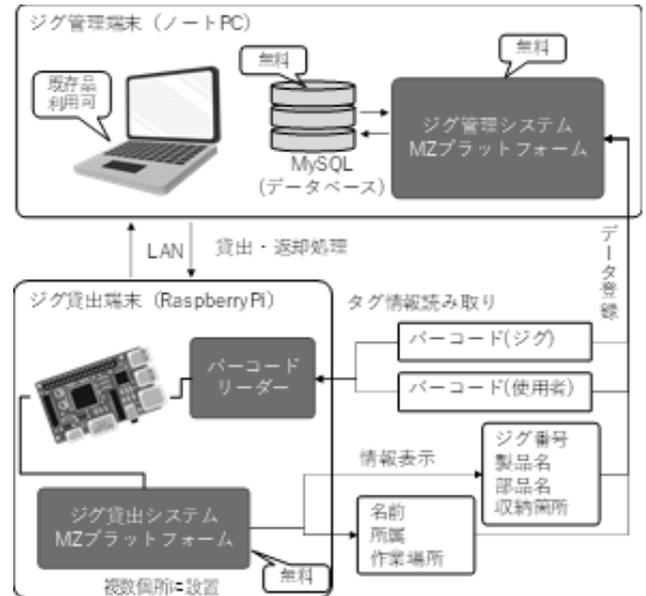


図6 拡張したジグ管理システムの構成図

3. まとめ

少量多品種を製造する家具産業の現場では多数のジグが必要となり、ジグ管理コスト増大に悩まされている。そこで、既存技術や研究シーズを活用し、高度なプログラミング知識がなくとも開発・運用できるジグ管理システムを構築した。

ハードウェアにおいては、RaspberryPi、標準的なPC周辺機器等、安価な既製品を、ソフトウェアにおいてはMZプラットフォームを使用することで安価で運用性の高いジグ管理システムを構築することが出来た。

参考文献

- 1) 横山哲也ほか:IoT 技術を活用した予防保全に関する研究開発(第1報) 工作機主軸モータの電流データによる状態監視, 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第19号, pp.1-3, 2018.
- 2) 成瀬哲哉ほか:オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化について, 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第19号, pp.4-5, 2018.
- 3) 成瀬哲哉ほか:オープンソースソフトウェアを活用した工作機械の状態可視化について(第2報), 岐阜県情報技術研究所研究報告, 第20号, pp.9-10, 2019.
- 4) MZプラットフォームユーザー会:
<https://ssl.monozukuri.org/mzplatform/>

ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出 (第3報) 加工にともなう木材の見た目の変化

山口穂高*¹, 藤巻吾朗*¹, 仲村匡司*²

Design Guide for Edge Glued Panel Based on *Kansei* (3) Pattern Changing of Wood's Surface caused by Processing

YAMAGUCHI Hodaka*¹, FUJIMAKI Goroh*¹, NAKAMURA Masashi*²

本報告では、加工にともなう様々に変化していく木材の見た目の変化を客観的に把握し、完成品の見た目を予測することを目的に、加工前後の木材表面の画像解析を行った。在庫状態のレッドオークまき目材に一般的な木材加工を想定した各種加工(切削、二回の研磨、二回の塗装)を施し、それぞれの工程における木材表面をデジタルカメラで撮影した。画像解析手法には画像全体の調子を捉える輝度ヒストグラム解析を用い、ヒストグラムより得られる平均(Mean)、標準偏差(SD)、歪度(Skew)の各加工工程による変化を分析した。その結果、切削後から塗装後の変化では、Meanの低下とSDおよびSkewの増加が見られ、木材の濡れ色に対応する変化は全体的な暗化とコントラストの増加、光沢感の増加によって説明されると考えられた。また、各加工段階における各種統計量から完成品段階の各種統計量を予測する一次式を算出した結果、在庫状態から完成品の状態を予測することは困難であるが、一度切削を施すことで材の明るさとコントラストの予測が容易になることが示唆された。

1. 緒言

木材は生物由来材料であるために、単体から大面積部材を製造することは困難である。そのため、テーブル等の木製天板を工業的に製造する場合には、個々の木材(エレメント)を幅方向にはぎ合わせた「幅はぎ集成材」や芯組みに表面材を貼りつけた「フラッシュパネル」を用いることが一般的である。中でも幅はぎ集成材はより一枚板に近い木質感や重厚感があるのが特徴である。

幅はぎ集成材の品質に関わる製造工程のひとつにエレメントの柄合わせが挙げられる。これは、色味や木目の異なるエレメントを一枚の天板として「見た目の違和感」がないように組み合わせる工程である。この工程は職人の目視と手作業によって行われているため、仕上がりが作業者の技能に依存する点とエレメントを並べ替えるのに身体的な負担が大きい点が課題である。そのため、幅はぎ集成材の製造現場からは柄合わせ工程の数値化や自動化が望まれている。この技術の実現のためには、どのような柄合

せパターンから人がどのような視覚的な印象を受けるのかを明らかにすることと、幅はぎ集成材の視覚的な特徴を数値化することが必要である。そこで本研究では、人の感性に対応した幅はぎ集成材の設計指針の導出を目的とし、さまざまな幅はぎ集成材の感性評価と木材の表面意匠の画像解析を行う。

前報¹⁾では、幅はぎ集成材の設計指針導出のための基礎的な検討として、木工業関係者や一般消費者が木材の柄合わせの際にどのような点を重視しているのかを柄合わせパターン作成実験とそのパターン分類より調査した。その結果、柄合わせパターンの分類には道管や放射組織のつまり具合と局所的な明暗やエレメントの境目の目立ち具合が重要であることが示唆された。

一方で、柄合わせの工程は一般的に木取り後の木材を対象に行うが、木材はその後の加工において表面の見た目が変化していく。そのため、完成品の見た目を画像解析によって数値化するだけでなく、切削や研磨などの加工にともなう見た目の変化を捉え、完成品の状態を前段階から予測することが必要である。よって本報告では、加工にともなう様々に変化していく木材の見た目の変化を客観的に把握

*1 試験研究部

*2 京都大学大学院農学研究科

することと完成品の木材の見た目を予測することを目的に、加工前後の木材表面の画像解析を行った。

2. 方法

2.1 サンプルの調整方法

レッドオーク (*Quercus rubra*) のまさ目材を対象とし、家具用流通材からランダムに選択した15本の小試験体(長さ約410 mm×幅約46 mm×厚み約35 mm)をサンプルとして準備した。その後、それぞれのサンプルに一般的な家具の加工工程を想定した以下の加工を施した。

- (a) 在庫状態: 乾燥後の木材を仕入れた状態そのままを在庫状態と定義した。
- (b) 切削: 自動鉋盤を用いて表面の凹凸の除去を行った。凹凸の除去に要した切削量はサンプルによって異なり、1.0~1.7mmであった。
- (c) 研磨: 180番手と240番手の研磨を行った。研磨はダブルアクションサンダーを用いて木工技術者が行った。
- (d) 塗装: 無着色の2液混合型ウレタン塗料を用い、下塗りと上塗り(艶消し)を行った。塗装は木工技術者がスプレーガンを用いてオープンポア仕上げとなるように行った。

2.2 木材表面の撮影方法

本報告では前述の各加工工程における木材表面をデジタルカメラによって撮影することで表面の見た目を捉えた。撮影は、前報¹⁾と同様に、暗幕で囲った撮影装置内で行われた(図1)。カメラの各種設定パラメータも前報¹⁾と同様とした。撮影された画像のサンプル表面における解像度は0.113 mm/pixelであり、画像解析には長さ3,500 pixel×幅350 pixel(約395.5 mm×約39.55 mm)のサイズにトリミングした画像を用いた。

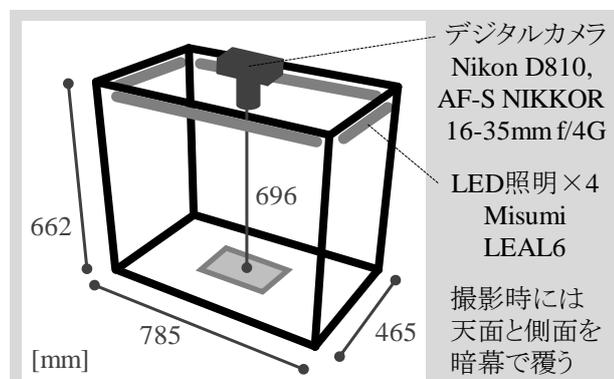


図1 撮影装置の概要

2.3 画像解析の方法

本報告では木材の見た目を客観的に評価する手法としてヒストグラム解析を採用した。ヒストグラム解析は、画像全体の画素値の度数分布を表示したもので、本報告では画素の明暗である輝度値のヒストグラム解析を行った。まず、24 bit カラー画像をNTSC輝度変換式²⁾によって、8 bit グレースケール画像(256段階で表示したモノクロ画像、0:黒~255:白)へと変換した。その後、各輝度値の度数を求め、その度数分布より一次統計量である平均(Mean)、二次統計量である標準偏差(SD)、三次統計量である歪度(Skew)の3つの画像統計量を得た。Meanは画像全体の明るさ、SDは明暗の分布の広さ、Skewは明暗のすそ野の偏りと対応する。また、本報告においてこれらの統計量とヒトの感覚の対応は以下のようにであると仮定する。

Mean: 表面全体の明るさに対応し、値が大きいほど木材表面が明るいとは仮定する。

SD: 材内のコントラストの強さに対応し、値が大きいほどコントラストが強い(木目が目立つ)とは仮定する。

Skew: 値が大きいほど光沢感が強いとは仮定する³⁾。

分析では、まず、典型的な輝度ヒストグラム形状の変化を確認した。続いて、加工工程が各種画像統計量に与える影響を調査するために、それぞれの統計量について加工工程を要因とした分散分析(対応あり)と多重比較(Bonferroni補正)を行った。最後に、完成品の統計量を目的変数、ある前段階での統計量を説明変数とした回帰分析を行うことで完成状態の見えの予測について検討した。なお、分析の際はMeanが他のサンプルと比べて極めて低値であった1つのサンプルを除外したため、分析に用いたサンプル数は14であった。

3. 結果と考察

3.1 ヒストグラム形状の変化

今回のサンプルの中でヒストグラムの形状が典型的であった1サンプルのヒストグラムの変化を図2に示す。

切削後のヒストグラム形状に着目すると、正規分布様の山型で、ピークが右方向に寄り、左のすそ野が緩やかに伸びたような形状であることが観察される。この傾向はすべてのサンプルに共通していた。分布の左のすそ野は材内での暗い領域に該当し、今回のサンプルにおける道管や放射組織に対応する画素であると考えられる。

切削後から研磨後への形状変化は、ピークが左にシフトし、より尖っている。したがって、研磨によって全体的に暗くなり、コントラストが低下したと考えられる。また、研磨後から塗装後の形状変化では、ピ

ーク位置は同程度であるが、左右のすそ野、特に暗い側のすそ野が広がっている。よって、塗装によってコントラストが強調されており、特に道管や放射組織に対応する画素がより暗く見えるようになったと考えられる。

3.2 各種統計量の変化

前述のヒストグラム形状の変化を数値的に捉えるために、各工程における輝度値ヒストグラムの Mean、SD、Skew の結果と加工工程を要因とした検定の結果を図 3 に示す。この結果、すべての統計量について加工工程の主効果 ($p < .05$) が認められた。また、多重比較の結果より、番手の異なる研磨間以外の多くの加工工程間に有意差 ($p < .05$) が見られた。このことより、番手の異なる研磨が画像解析の各種統計量に与える影響は小さいが、それ以外の加工によって各種統計量は変化したと考えられる。

加工にともなう統計量の遷移に着目すると、在庫状態から切削の段階では Mean が減少しており、全体に暗化したと考えられる。これは、毛羽立ちによる乱反射成分が除去されたためであると考察する。続いて切削後から研磨後の段階では Mean がさらに減少しており、これは研磨による艶消し効果が原因であると考えられる。最後に研磨後から塗装の段階では SD の増加が見られ、材内のコントラストが強まったと考えられる。また、Skew も増加していることから光沢感も増加したと考えられる。

幅はぎ集成材の柄合わせの工程は一般的にプレーナによって木取りをした後に行われるため、今回の実験条件の切削後の状態が柄合わせを行うタイミングと対応する。そこで、切削後から塗装後の変化に着目すると、Mean は低下しており、SD と Skew はそれぞれ増加している。これらの変化はいわゆる「木材の濡れ色」の変化であり、ヒトの感覚における木材表面の全体的な暗化、木目がくっきりと見えるようになるコントラストの増加、塗膜による光沢感の増加に対応していると考えられる。また、各種統計量の具体的な変化量はサンプルと撮影系に依存するが、本報告の撮影系での 14 サンプルの平均値においては、Mean の低下は約 5.1、SD と Skew の増加はそれぞれ約 1.5 と約 0.12 であった。

3.3 各種統計量の予測

各種統計量について、完成品の状態を目的変数、在庫状態、切削後、研磨後の状態のいずれかを説明変数とした一次式による回帰分析の結果を図 4 に示す。Mean と SD においては、在庫状態の予測式の自由度調整済み決定係数 (R^2) は 0.4 程度と低値であるが、切削後の予測式では R^2 は 0.8 以上にまで向

上した。一方、Skew では、いずれの前工程においても予測式の R^2 は 0.6 程度であった。この結果より、完成品の見た目は、在庫状態からの予測は困難であるが、一度切削を施すことで全体的な明るさとコントラストの予測は容易になることが示唆された。本研究によって得られた切削後の各種統計量から完成品の各種統計量を推定する予測式を表 1 に示す。なお、具体的な数値はサンプルと撮影系に依存する。

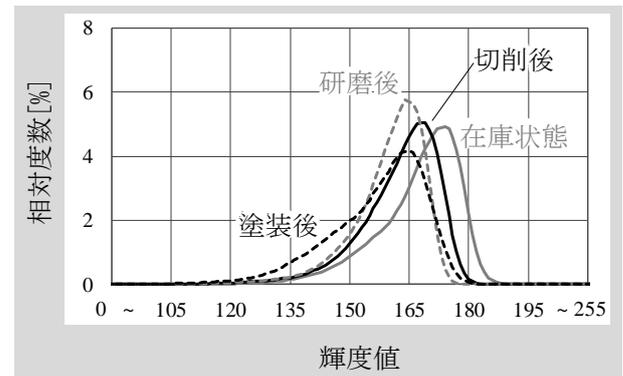


図 2 加工にともなうヒストグラム変化の例

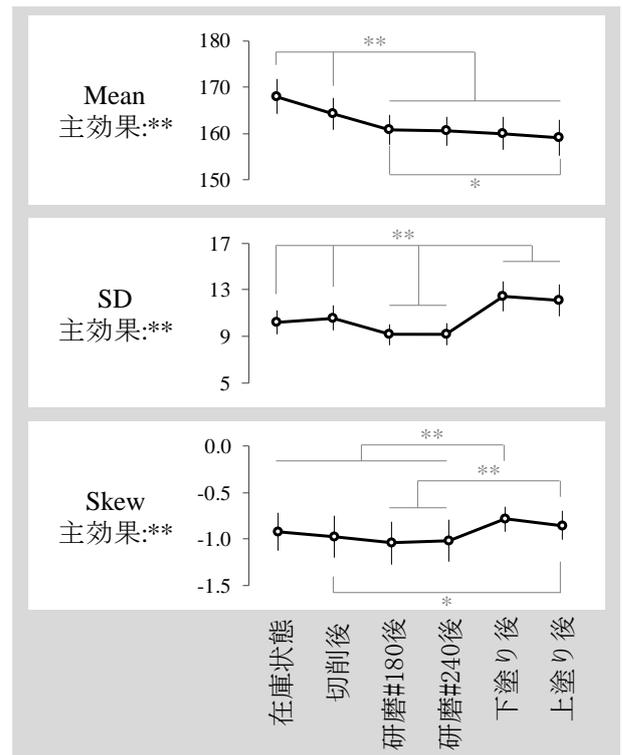


図 3 各種統計量の変化 (平均値 ± 標準偏差、 $n=14$ 、分散分析 (対応あり)、Bonferroni 補正、*: $p < 0.05$ 、**: $p < 0.01$)

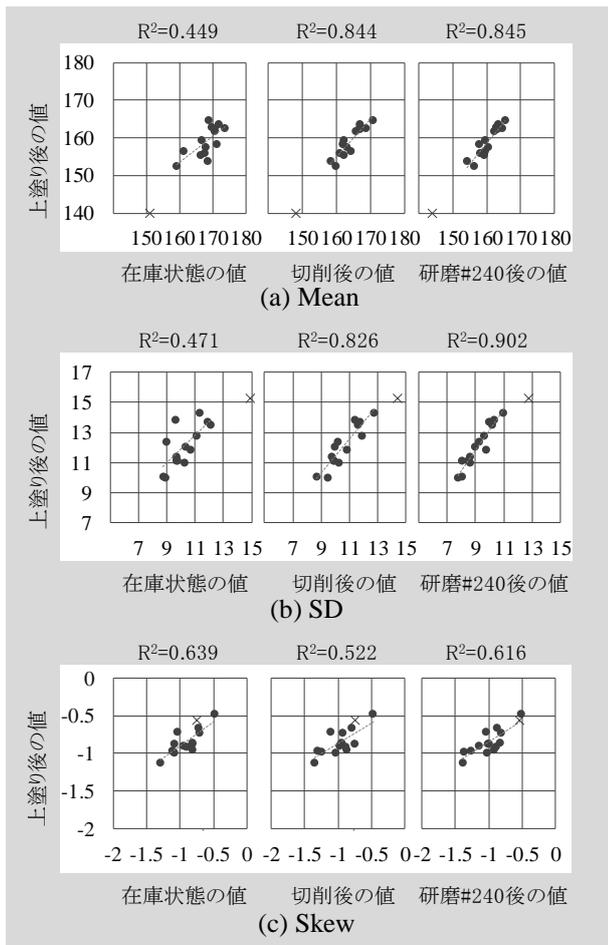


図4 完成品と各工程間の回帰分析 (R^2 は自由度調整済み決定係数、 $n=14$ 、 \times :外れ値)

表1 切削後の各種統計量からの完成品の各種統計量の予測式

(予測値: 上塗り後の予測値、観測値: 切削後の測定値、 R^2 は自由度調整済み決定係数、 $n=14$)

y (予測値)	a	x (観測値)	b	R^2
Mean'	= 1.02	Mean	- 8.01	0.844
SD'	= 1.13	SD	+ 0.197	0.826
Skew'	= 0.531	Skew	- 0.336	0.522

4. まとめ

本報告では、加工にもなって様々に変化していく木材の見た目の変化を客観的に把握し、完成品の木材の見た目を予測することを目的に、加工前後の木材表面の画像解析を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 典型的なレッドオーク材のヒストグラム形状は正規分布様の山型で、ピークが右に寄り、左すそ野が緩やかに伸びた形状であった。
- (2) 切削後の状態と完成品の状態をヒストグラム形状と各種統計量から比較すると、塗装によって表面は全体的に暗化し、コントラストと光沢感が増加すると考えられた。
- (3) 完成品の見た目は在庫状態から予測することは困難であるが、一度切削を施すことで全体的な明るさとコントラストの予測は容易になることが示唆された。
- (4) 切削後の各種統計量から完成品の各種統計量を推定する予測式を算出した。輝度の平均値と標準偏差の予測精度は高く、それらの決定係数は0.8程度であった。

一方で、本報告の制限は得られた数値が撮影系とサンプルに依存する点である。そのため、他樹種での検討や数値の標準化手法の検討が今後の課題として残る。また、エレメントを幅はぎ集成材として組み合わせた際の各種統計量の均一さと人が感じる主観的な均一さとの対応を試みることやヒストグラム解析では説明できない木目柄を捉えられる画像解析手法を適用することが今後の発展には有効である。

参考文献

- 1) 山口穂高ほか:ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出(第1報)画像解析を用いた柄合わせパターン分類, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.34-37, 2019.
- 2) 日本色彩学会編:新編色彩科学ハンドブック第3版, 2011.
- 3) 小松英彦:質感の科学, pp.31-34, 朝倉書店 2016.

ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出 (第4報) 柄の異なる実大天板の評価

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 日高亜美^{*2}, 吉田宏昭^{*3}

Design Guide for Edge Glued Panel Based on *Kansei* (4) Evaluation of Visual Impressions using Full Size Stimulus

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}, HIDAKA Ami^{*2}, YOSHIDA Hiroaki^{*3}

本報告では、柄の異なる幅はぎ集成材の視覚的印象を明らかにすることを目的に、さまざまな柄合わせパターンを有する実大天板の印象評価を行った。サンプルには異なる意図によって柄合わせがされたレッドオーク材の実大天板8種類を用い、Visual Analog Scale法による11用語の印象評価を行った。その結果、家具職人が色味と柄をできるだけ均一に合わせた天板が最も良い評価を得た。また、天板に木目が流れている木材が混じっていても、色味を合わせていれば被験者に「均一」と評価されたことから、柄合わせには木目の流れよりも色味を合わせる方が重要であることが示唆された。加えて、トラフや節などの木目とは違う特徴は天板の評価に与える影響が大きいことが示唆された。「好き」「嫌い」を除いた9用語の因子分析を行った結果、「均一さ」と「上質さ」の2つの因子で65.8%説明できるとの結果が得られ、柄の異なる木製天板の視覚的印象の評価構造は、柄がそろっているかどうかという材質的な評価軸と上質かどうかという感性的な評価軸で説明できることが示唆された。

1. 緒言

幅はぎ集成材の品質に関わる製造工程のひとつに個々の木材(エレメント)の柄合わせ工程が挙げられ、製造現場からはこの工程の数値化や自動化が望まれている。そこで本研究では、ヒトの感性に対応した幅はぎ集成材の設計指針の導出を目的とし、さまざまな幅はぎ集成材の感性評価と木材の表面意匠の画像解析を行っている。

前報¹⁾では、幅はぎ集成材の評価に適した評価用語を明らかにすることを目的に、均一な柄合わせを行った天板と不均一な柄合わせを行った天板の評価に用いる用語を調査した。その結果、均一な天板の評価には「シンプルさ」に関する用語が選択されやすく、不均一な天板には「柄の変化の多さ」に関する用語が選択されやすいことが分かった。また、被験者の木工に関する知識の違いによって柄の好みが変わったり、評価に使いやすい用語が変わったりすることが示唆された。

これらの知見を受け、本報告では、前報の結果から選定した評価用語を用いて、さまざまな柄合わせパターンを有する実大天板の印象評価を行った。本報告の目的は、柄の異なる幅はぎ集成材の視覚的印象を実大の木製天板を想定したサンプルの評価から明らかにすることである。

2. 方法

2.1 評価サンプルの調整

本報告では実際のダイニングテーブルを想定し、柄の異なる実大天板サイズのサンプルを作製した。樹種はレッドオーク(*Quercus rubra*)を対象とし、幅はぎ集成材のサンプルを以下の2通りの方法で8枚準備した(図1)。

(1) サンプルA群(A1~A3)

前報¹⁾において評価用語の選定に用いた2枚のサンプルと同様の工程で作製したサンプル1枚の合計3枚を準備した。これらは、家具メーカーにおいて実際のテーブル製品と同様の仕様で作製されているが、柄の合わせ方について実験者は指示をしなかった。A1~A3のサイズは長さ1,500 mm×幅850 mmであった。

*1 試験研究部

*2 信州大学大学院総合理工学研究科

*3 信州大学繊維学部

(2) サンプルB群 (B1~B5)

エレメントとなるレッドオークのまさ目材41本を準備し、木工歴40年以上の経験を有する職人が以下3種類の意図を持って柄合わせを行った。

B1: 木目と色が最も均一に見えるように合わせる

B2: 木目は流れているエレメントも使用するが、色味は合わせる

B3: トラフが多いエレメントで色味を合わせる

また、B1~B3に使用されなかったエレメントを用いて、木工技能を有しない実験者が以下2種類の意図を持って柄合わせを行った。

B4: 節や濃色スジなどの欠点があるエレメントを無作為に合わせる

B5: 色味がストライプに見えるように合わせる

B1~B5のサイズは長さ1,200 mm×幅800 mmであり、仕上げは実製品と同様の仕様で行った。

2.2 印象評価の方法

印象評価には紙面によるVisual Analog Scale法を用いた。評価用語ごとに長さ100 mmの線分において左端を「全くない」、右端を「非常に」とし、印象にもっとも適すると思う線分上の位置に印をつけさせた。分析の際は線分の左端から印までの距離を1 mm単位で計測し、評価値とした。

評価用語は前報¹⁾の結果から11用語(シンプルな、ランダムな、あたたかい、きれいな、おしゃれな、一般的な、個性的な、違和感のある、ダイニングテーブルに適する、好き、嫌い)を選定した。分析では各評価用語についてサンプルを要因とする分散分析を実施し、各評価用語への柄の違いが与える影響を考察した。その後、「好き」「嫌い」を除いた9用語の全被験者全サンプルの評価値を用いて因子分析を行い、評価構造の考察とサンプルのマッピングを行った。

2.3 サンプルの観察方法

印象評価実験は照明を統制できる実験室内で行った(図2)。サンプルを黒色布で覆った高さ720 mmのテーブルの中央部に設置し、上部に照明装置(THOUSLITE LEDCube)を設置した。サンプル中央での照明環境は、照度711 lx、色温度6,475 K、色偏差0.0026、CIE Ra 96.8であった。

被験者はサンプルの長辺が横になる向きで高さ430 mmの椅子に着座してサンプルを観察した。評価の際はダイニングテーブルを想定して見た目の印象を評価するように教示した。サンプルの提示順はA1~A3をランダムに提示したのちにB1~B5をランダムに提示する順とした。被験者は10名(男性6名、女性4名、30代~60代)とした。

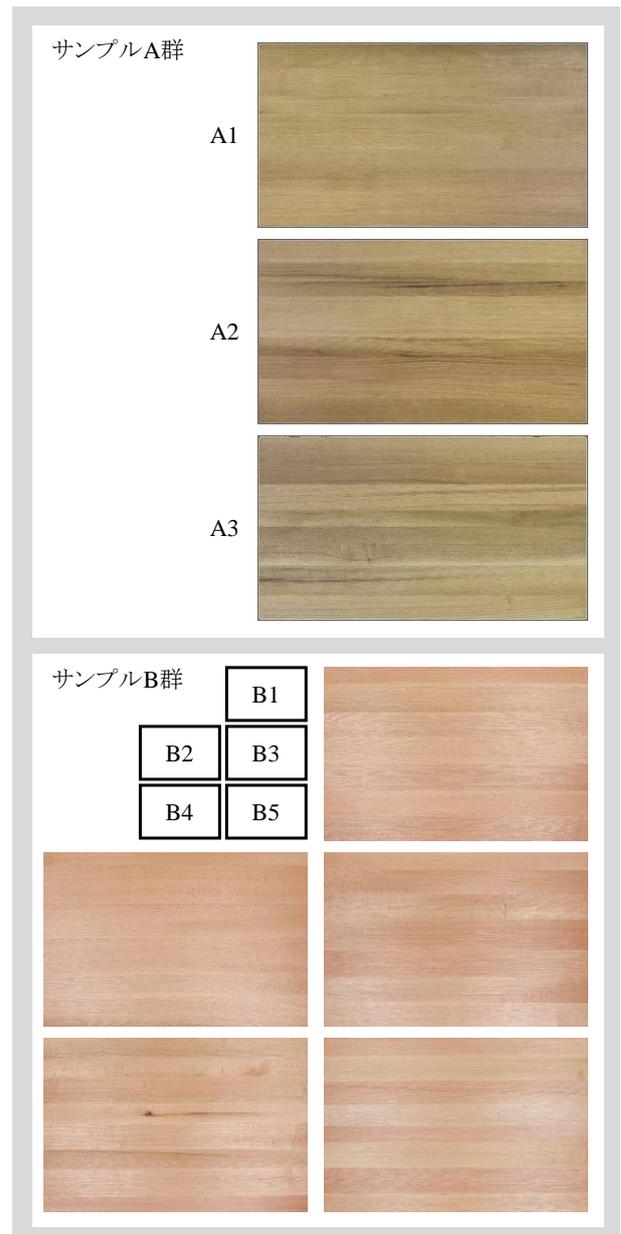


図1 評価に用いた8枚の実大天板(A群:1,500 mm×850 mm、B群:1,200 mm×800 mm)



図2 実験環境

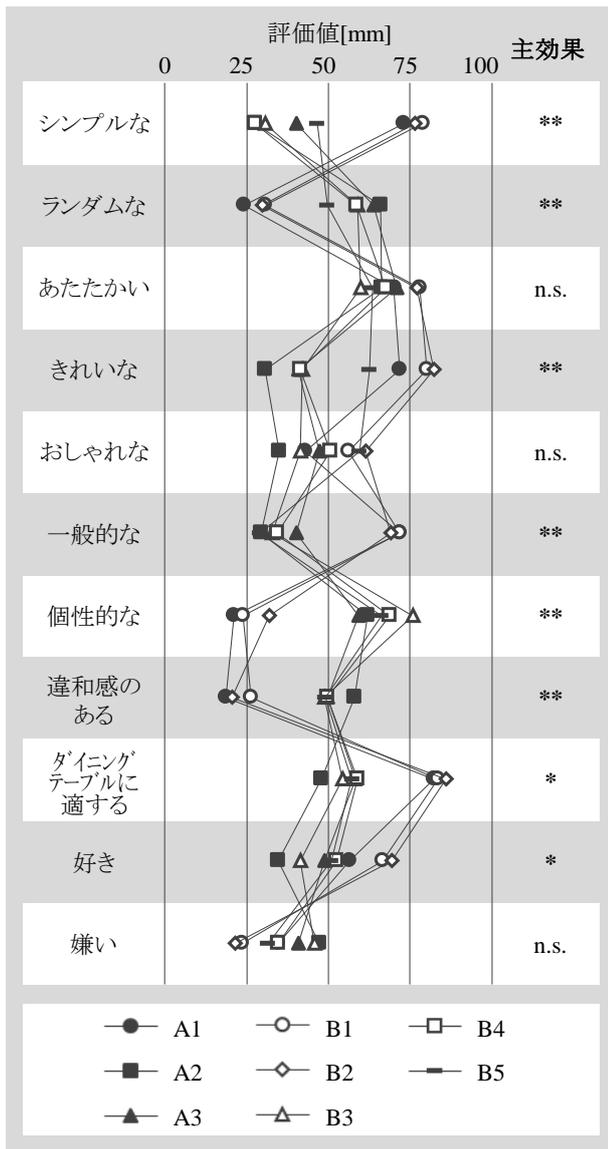


図3 各評価用語の結果
(平均値、n=10、*: p<.05、**: p<.01)

3. 結果と考察

3.1 各評価用語の評価値

評価用語ごとに評価値の平均値を求めた結果と分散分析の結果を図3に示す。ほとんどの評価用語でサンプルの主効果が有意(p<.05)であったが、「あたたかい」「おしゃれな」「嫌い」の3用語では主効果が見られなかった。

サンプルA群の評価に着目すると、A2とA3の評価は類似しており、「ランダムな」「個性的な」「違和感のある」の評価値が高かった。A1は「シンプルな」「きれいな」「一般的な」の評価値が高く、「ダイニングテーブルに適する」の評価も高値であった。このことから、A1のような均一な柄の天板のほうがA2やA3のような不均一な柄の天板よりも一般的でダイニングテーブ

ルに適すると評価されることが示唆された。

サンプルB群に着目すると、B1とB2の評価は類似しており、「シンプルな」「きれいな」「一般的な」の評価が高く、「ダイニングテーブルに適する」「好き」の評価も高値であった。この評価傾向はA1とも類似しているが、B1およびB2のほうがA1よりも「ダイニングテーブルに適する」と「好き」の評価が高く、均一な柄の中でもB1とB2は今回の被験者に好まれたサンプルであったと言える。また、B1は「エレメントの柄も色味も最も良い」組み合わせ、B2は「木目は流れているが色味は合わせた」組み合わせという意図をもって作製したサンプルであったが、B1とB2の評価値の差は小さかった。このことから、幅はぎ集成材の柄合わせでは木目の流れよりもエレメント間の色味の合わせ方のほうが重要であることが示唆される。また、B3とB4の評価は類似しており、「ランダムな」「個性的な」「違和感のある」と評価された。B3は「トラフが現れている」組み合わせ、B4は「節などのエラー材を含めて無作為に合わせた」組み合わせであったので、B3とB4は作製の意図こそ異なるが評価値は類似した結果となった。このことから、B2のような木目の流れが印象評価に与える影響は限定的であるが、トラフや節などの木目とは異なる見た目の特徴は印象評価に影響を与えることが示唆される。また、色味をストライプ調に合わせたB5は「一般的な」の評価値が低値で「個性的な」評価値が高値であり、被験者にとって見慣れない柄であったことが示唆される。

3.2 因子分析

「好き」「嫌い」を除いた9用語の全被験者全サンプルの評価値を用いて因子分析(最尤法、プロマックス回転、基準化なし)を行った結果、固有値1以上の因子は2つ抽出され、抽出後の第2因子までの累積寄与率は65.8%であった(表1)。因子パターン行列に着目すると、因子1は、「一般的な」「シンプルな」に正の影響、「個性的な」「ランダムな」に負の影響を与えている。よって、因子1は材質的に柄が均一かどうかの評価軸だと解釈し、「均一さ」と定義した。因子2は「おしゃれな」「きれいな」「ダイニングテーブルに適する」「あたたかい」に正の影響を与えていることから、天板の印象と総合評価に関する評価軸だと解釈し、「上質さ」と定義した。柄の異なる木製天板の視覚的印象の評価構造は、柄がそろっているかどうかという材質的な評価軸と上質かどうかという感性的な評価軸で65%以上説明できると考えられる。

続いて、因子分析から得られた因子を軸にして各サンプルの平均値をマッピングした(図4)。サンプルを要因として各因子得点の分散分析を実施した結果、因子1と因子2のいずれの因子においてもサンプル

の主効果が有意 ($p < .01$) であった。この結果から、A1、B1、B2は均一で上質さが高いサンプル群、A2、A3、B3、B4は不均一で上質さが低いサンプル群であると考えられる。また、B5のみ不均一で上質さが高い象限に布置された。第一象限のサンプル群は柄合わせが均一かつ上質で典型的なダイニングテーブルに適した柄であると考えられる。第三象限のサンプル群の柄は不均一であり、一般的なダイニングテーブルの柄としては受け入れられにくいと考えられる。

表1 因子分析の結果 ($n=10 \times 8$)

		因子1	因子2
抽出後	固有値	4.75	1.17
	寄与率[%]	52.7	13.0
	累積寄与率[%]	52.7	65.8
回転後の因子間相関		0.441	
因子パターン行列	一般的な	0.850	0.042
	シンプルな	0.728	0.269
	違和感のある	-0.530	-0.329
	ランダムな	-0.664	-0.066
	個性的な	-1.009	0.254
	おしゃれな	-0.287	0.905
	きれいな	0.405	0.707
	ダイニングテーブルに適する	0.403	0.529
	あたたかい	0.087	0.491
因子の解釈		均一さ	上質さ

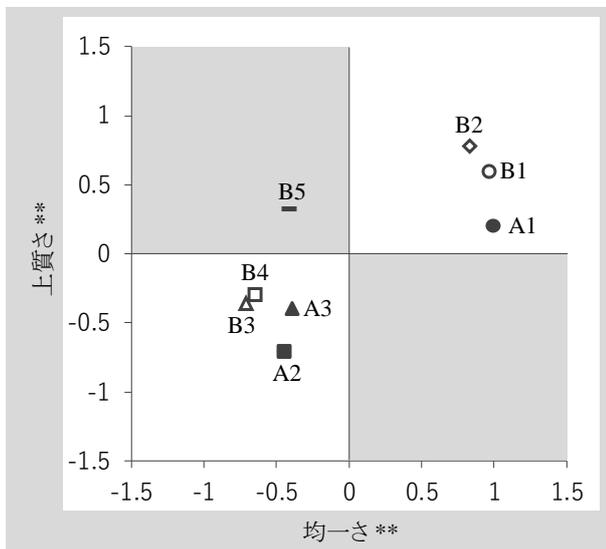


図4 因子得点の結果
(平均値、 $n=10$ 、*： $p < .05$ 、**： $p < .01$)

4. まとめ

本報告では柄の異なる幅はぎ集成材の視覚的印象を明らかにすることを目的に、実大サンプルの印象評価実験を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 職人ができるだけエレメントを均一になるように柄合わせを行ったサンプルがもっとも高評価を得た。
- (2) 木目の流れたエレメントも用いた天板 (B2) と木目と色を最も均一に合わせた天板 (B1) との評価は全体的に類似していた。このことより、幅はぎ集成材の柄合わせには木目の流れよりもエレメント間の色味を合わせるほうが重要であることが示唆された。
- (3) トラフが多いエレメントを用いつつ色味を合わせた天板 (B3) と欠点を含むエレメントを無作為合わせた天板 (B4) の評価が類似して均一でないという評価を得たことから、トラフや節などの木目とは異なる見た目の特徴は幅はぎ集成材の印象に影響を与えることが示唆された。
- (4) 「好き」「嫌い」を除いた評価用語の評価値を用いて因子分析を行った結果、「好き」「嫌い」以外の評価は「均一さ」と「上質さ」の2つの因子で65.8%説明することができた。よって、柄の異なる木製天板の視覚的印象の評価構造は、包括的には、柄がそろっているかどうかという材質的な評価軸と上質かどうかという感性的な評価軸で説明できることが示唆された。

一方で、本報告では柄の好みの詳細な分析には踏み込んでいない。柄の好みには個人差が影響すると考えられるため、今後は評価傾向の近い被験者を分類して好みの分析を行うことが有効である。また、サンプルの柄合わせは職人または実験者が意図的に行ったが、それらの柄の違いを画像解析の手法を用いて数値化し、印象評価結果を画像解析の結果から説明することで、より設計指針として有用な知見となることが期待される。

参考文献

- 1) 山口穂高ほか: ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出(第2報)柄の異なる木製天板を評価する用語の調査, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.38-42, 2019.

ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出 (第5報) 切削の繰り返しによる木材の見た目の変化

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}

Design Guide for Edge Glued Panel Based on *Kansei* (5) Pattern Changing of Wood's Surface caused by Repeated Planing

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}

本報告では、木材の加工にともなう見た目の変化を明らかにするための基礎的な検討として、どのような木材が切削にともなう見た目の変化が大きいと人に捉えられるのか、また、その見た目の変化の程度はどれほどであるのかを、木材表面を順に切削する様子を捉えた動画の印象評価と画像解析から調査した。その結果、切削にともなう見た目の変化が大きいと評価される木材は木目直行方向の模様(トラフ)が多く表れている木材であることが示唆された。また、画像のヒストグラム解析から得られた各種統計量の切削にともなう変化の程度はサンプル間のばらつきに比べて小さく、19 mm切削した範囲での木材色の明暗の変化は限定的であると考えられた。一方で、切削にともなう見た目の変化は、木材色の変化よりも模様の移り変わりによって知覚される可能性が高いことが示唆され、今後は模様を捉えられる画像解析手法を適用することが必要であることが明らかとなった。

1. 緒言

幅はぎ集成材の品質に関わる製造工程のひとつに個々の木材(エレメント)の柄合わせ工程が挙げられ、製造現場からは柄合わせ工程の数値化や自動化が望まれている。そこで本研究では、ヒトの感性に対応した幅はぎ集成材の設計指針の導出を目的とし、さまざまな幅はぎ集成材の感性評価と木材の表面意匠の画像解析を行っている。

他方、木材の加工の多くは、削り出しによって形状や表面性状を整えていく、不可逆的な加工である。そのため、幅はぎ集成材の完成品の表面意匠は加工途中での表面の見た目と完全には一致しない。したがって、エレメントの柄合わせ工程の数値化や自動化にあたっては木材の加工にともなう見た目の変化を把握する必要がある。

本報告ではそのための基礎的な検討として、木材の加工のひとつである切削に限定し、切削を繰り返した際の木材表面の見た目の変化を調査した。具体的

には、木材表面を順に切削した際の見た目の変化を動画としてとらえ、その動画の印象評価を実施した。また、木材表面の画像解析を行い、感覚量との対応と変化量の程度を分析した。本報告の目的は、どのような木材が「切削にともなう見た目の変化が大きい」と人に捉えられるのか、また、その見た目の変化の程度はどれほどであるのかを明らかにすることである。

2. 方法

2.1 木材の切削方法

実験サンプルは家具用材に用いられることも多いレッドオーク(*Quercus rubra*)のまさ目材とし、家具用流通材からランダムに選択した9本の試験体(長さ380 mm×幅42 mm×厚み30 mm)を用意した。切削には定盤固定自動一面鉋盤(TOKIWA ADR-501C、回転数5,500 rpm、送り速度5 mm/s)を用い、表面を1度切削(初期状態)した後、切削量1 mmに設定した切削を19回繰り返した。各サンプルの初期状態での表面の見た目を図1に示す。

^{*1} 試験研究部

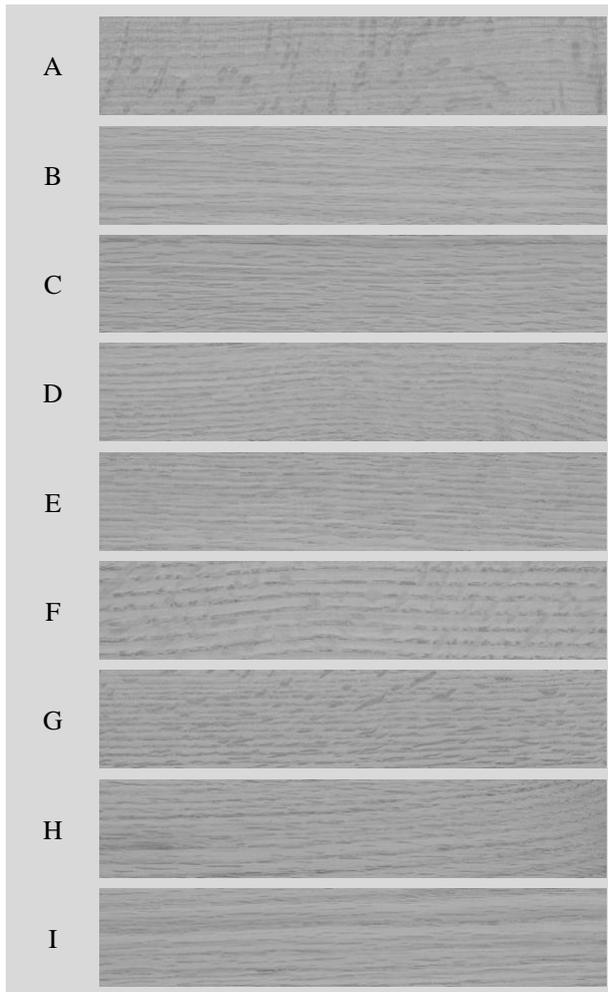


図1 各サンプルの初期状態(レッドオークまさ目材、長さ約208.8 mm×幅約40.6 mm)

2.2 呈示刺激の作成方法

本報告では切削にともなう木材の見た目の変化を被験者に評価させるため、1 mm 切削する度に表面を撮影し、その画像を連続的に表示した動画を呈示刺激とした。

撮影は前報¹⁾と同様の設定により、暗幕で囲われた照明装置内で行った。撮影された画像の解像度は0.116 mm/pixel であり、呈示刺激の作成には長さ1,800 pixel×幅350 pixel(約208.8 mm×約40.6 mm)にトリミングした画像を用いた。

以上の方法で初期状態と1 mm 切削するごとに表面を撮影し、画像を取得した。つまり、各サンプルについて、表面が1 mm ずつ切削されていく20枚の画像群を得たこととなる。9 サンプルそれぞれの動画は、これらの20枚の画像を初期状態から切削が進んでいく順に0.1秒ずつ表示し、2秒で1サイクルとなるように作成された。

2.3 印象評価の方法

作成された動画の評価には一対比較(中屋の変法)を用い、7名の被験者(男性4名、女性3名、30代～60代)が実験に参加した。被験者は暗室内で額から500 mm離れた位置に設置されたカラーマネジメントモニター(EIZO CG2730、輝度80 cd/m²、色温度6,500 K、ガンマ2.20)に実寸大で表示されたサンプル動画の各ペアを観察してどちらが「変化に富んでいる」かを7段階(非常に、かなり、やや、どちらでもない)で回答した。一対比較の際は、最初の2秒間に黒色を表示し、その後2つのサンプルの動画を左右に並べて10回連続で再生した。動画のペアの呈示順は被験者ごとにランダムとし、一人当たり全36回(9C₂)の評価を繰り返した。分析では平均嗜好度と95%推定幅を算出した。また、評価後にどのような点を考慮して回答したかを聞き取った。

2.4 画像解析の方法

木材表面の木目の見え方は、板目かまさ目かという木取りの方法と、年輪の数(年輪密度)の影響を受けると仮定される。そこでサンプルの片側の木口面において年輪密度と年輪接触角を計測した。年輪密度は木口面のすべての年輪をカウントすることで取得し、年輪接触角は木口面のすべての年輪の傾斜角の平均値を算出することで得た。なお、本研究では木材表面に対して水平な年輪接触角を0°、垂直な年輪接触角を90°と定義した。つまり、年輪接触角が90°に近いほど、まさ目の度合いが高いサンプルであることを示す。

加えて、表面画像のヒストグラム解析を行った。ヒストグラム解析は画像全体の画素値の度数分布から各種統計量を得る手法で、本研究では、画素の明暗である輝度値のヒストグラム解析を行った。まず、24 bit カラー画像をNTSC輝度変換式²⁾によって8 bit グレースケール画像(明暗を256段階で表示したモノクロ画像、0:黒～255:白)へと変換した。その後、各輝度値の度数を求め、その度数分布より、平均(Mean)、標準偏差(SD)、歪度(Skew)の3つの画像統計量を得た。Meanは画像全体の明るさ、SDは明暗の分布の広さ、Skewは明暗のすそ野の偏りと対応する。これらの画像統計量は各サンプルの20枚の画像に対してそれぞれ算出されるが、ここでは、各画像統計量について20枚の標準偏差を算出し、その値を切削にともなう画像統計量の変化量とした。

3. 結果と考察

3.1 印象評価より得られた各サンプルの特徴

一対比較によって得られた分散分析表と各サンプルの平均嗜好度を図 2 に示す。分散分析の結果から、主効果、個人差、組み合わせ効果が有意($p < .05$)であった。各サンプルの平均嗜好度の差が 95%推定幅を超えないグループは、B~E~D、E~D~C~I、I~H、H~F、G、A であった。聞き取り調査からは繊維平行方向の模様の変化よりも繊維直行直方向の模様の変化が大きい方が変化に富んで感じたという意見が 7 名全員より得られた。

以上の結果より、個人差や組み合わせ効果に議論の余地は残るが、各サンプルの平均嗜好度の違いについて考察する。最も変化に富んだと評価されたのは A で、次いで G、F であった。これらのサンプルの初期状態での見た目を図 1 で確認すると、他のサンプルに比べてトラフがよく表れているサンプルである。また、A、G、F の動画を確認すると、そのトラフがいたるところに瞬間的に現れる様子が確認された。聞き取り調査において、木目よりも縦の模様の変化が印象的であったという意見が全員から得られたことから、切削に伴って見た目がよく変化すると評価される木材は放射組織が木材表面に目立って現れている木材であると考えられる。

3.2 印象評価の結果と画像統計量の対応

平均嗜好度と各画像統計量の相関係数と回帰分析の結果を図 3 に示す。この結果から、年輪接触角と平均嗜好度との間に正の相関、Skew の標準偏差と平均嗜好度との間に負の相関がみられた。

年輪接触角と平均嗜好度の間に正の相関があったことから、年輪接触角が木材表面に対して垂直であるほど、切削にともなう見た目の変化が大きいと解釈できる。つまり、まさ目の度合いが高い木材表面ほどトラフの出現も多くなり、その模様の変化が切削にともなうよく変化していたと考えられる。

Skew の標準偏差と平均嗜好度との間に負の相関があったのは、A および G が特に「変化に富んだ」と評価されたからであると考えられる。A および G はトラフが多く表れているサンプルであったため、トラフの多い材に切削を繰り返すことでトラフの位置は変化するが相対的な量は変わらなかった可能性がある。一方、切削に伴う Skew の変化量が大きかったサンプルにおいて見た目の変化が小さかった理由は、現状のデータからは明らかにできず、今後の課題である。

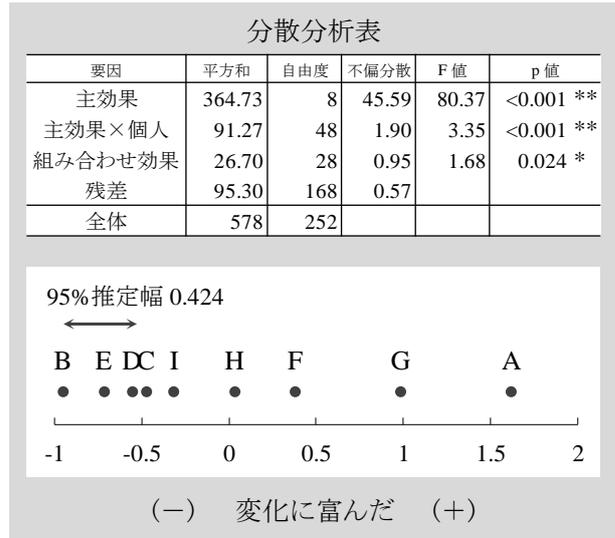


図 2 分散分析表と平均嗜好度の結果 (n=7)

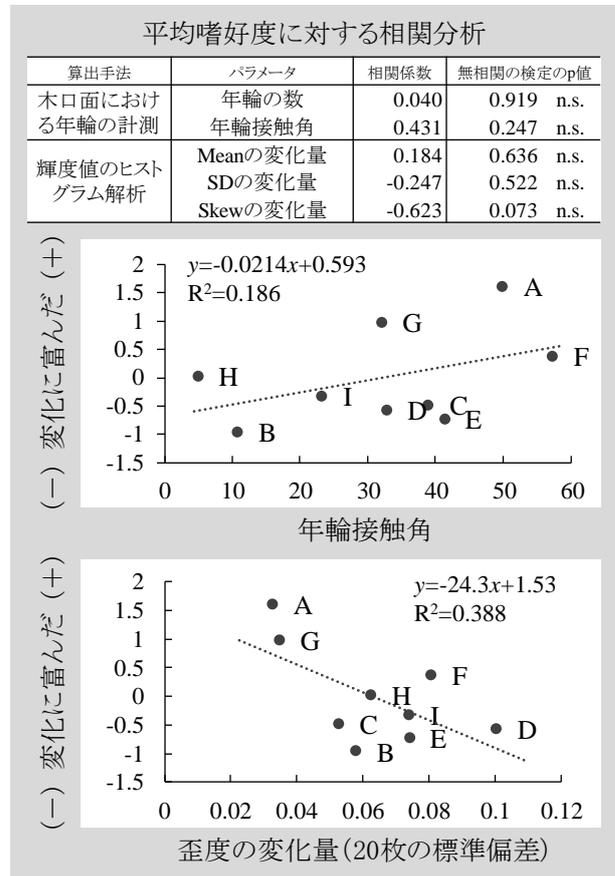


図 3 平均嗜好度と各画像統計量の対応 (n=9)

3.3 切削にともなう見た目の変化とサンプル間の見た目のばらつきとの比較

上述では、切削にともなう見た目の変化の大きなサンプルについて考察したが、その一方で切削にともなう見た目の変化の程度はどれほどであるのかを考察することも実際の製造工程での活用を目指す上では有意である。図 4 に各サンプルの切削にともなう画像統計量の変化量をサンプル間の標準偏差(初期状態の値より算出)で除した値を示す。つまり、図 4 の縦軸の値が 1 を超すと、サンプル間の見た目のばらつきの程度よりも切削にともなう見た目の変化の程度が大きいことを示し、1 より小さいとその逆を示すこととなる。図 4 より、いずれのサンプルにおいても各画像統計量のサンプル内での標準偏差は初期状態でのサンプル間の標準偏差を超えることはなかった。したがって、画像のヒストグラム解析から得られた各画像統計量の切削にともなう変化の程度はサンプル間のばらつきに比べて小さく、19 mm 切削した範囲での木材色の明暗の変化は限定的であると考えられる。

一方で、印象評価においてはサンプル間に切削にともなう見た目の変化の程度に差があった。このことより、切削にともなう見た目の変化は、木材色の変化よりも模様の移り変わりによって知覚されている可能性が高いことが示唆される。ヒストグラム解析は画像の調子を捉える手法であり、画素の並び順(木目模様)を捉えることはできない。また、Mean、SD、Skew の数値はサンプル寸法に依存する。今後はサンプルの寸法および解析領域を検討することや模様を捉えられる画像解析手法を適用することが必要である。

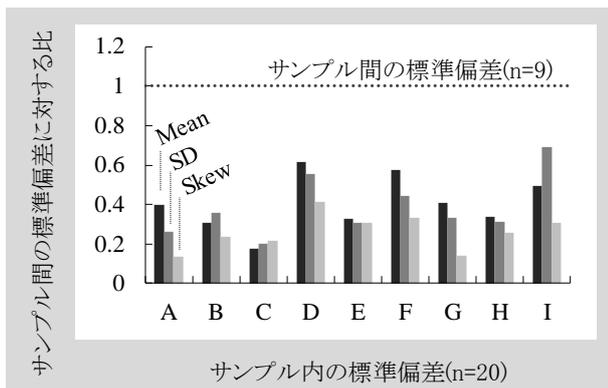


図 4 各画像統計量における切削にともなう変化の程度(サンプル間の標準偏差に対する比)

4. まとめ

本報告では、どのような木材が「切削にともなう見た目の変化が大きい」と人に捉えられるのか、またその見た目の変化の程度はどれほどであるのかを確認することを目的に、切削加工を繰り返した木材表面の印象評価と画像解析を行った。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 切削にともなう見た目の変化が大きいと評価される木材は繊維直行方向の模様(トラフ)が表れている木材であることが示唆された。
- (2) 各サンプルの「変化に富んだ」の評価と木口面の年輪接触角には相関関係が観察され、まさ目の度合いが高い木材表面ほどトラフが出現しやすく、その結果、切削にともなう見た目の変化が大きいと捉えられることと考えられた。
- (3) 切削を繰り返したことによる画像統計量の変化の程度をサンプル間のばらつきと比較した結果、ヒストグラム解析によって捉えられる画像の調子は、19 mm 切削した範囲では、サンプル間のばらつきほどは変化せず、切削にともなう木材色の変化は限定的であると考えられた。
- (4) 切削にともなう木材の見た目の変化は輝度ヒストグラムがあまり変化していないにも関わらず知覚されており、切削にともなう見た目の変化には木材色の変化よりも模様の移り変わりが重要であることが示唆された。

一方、本報告で用いた画像解析手法であるヒストグラム解析では画像の模様は捕捉できないというデメリットがある。切削にともなう見た目の変化には木材色の変化よりも模様の移り変わりのほうが影響を与えることが示唆されたため、今後は模様を把握する画像解析手法を活用して検討を加えることが有効である。

参考文献

- 1) 山口穂高ほか:ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出(第1報)画像解析を用いた柄合わせパターンの分類, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.34-37, 2019.
- 2) 日本色彩学会編:新編色彩科学ハンドブック第3版, 2011.

ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出 (第6報) 照明の違いが視覚的印象に与える影響

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 今井隆矢^{*2}

Design Guide for Edge Glued Panel Based on *Kansei* (6) Influence of Lighting Condition on Visual Impressions

YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, FUJIMAKI Goroh^{*1}, IMAI Ryuya^{*2}

幅はぎ集成材は木材の組み合わせ方によってさまざまな見た目を形成し、その見た目の印象が消費者の購買意欲に影響を与える。一方、見た目の印象は観察する照明環境によって変化することが予想される。そこで本報告では、柄合わせパターンの異なる幅はぎ材の見た目の評価を異なる照明環境下で実施し、照明の違いが幅はぎ材の視覚的印象に影響を与えうるかを確認した。評価サンプルには柄合わせパターンの分類実験から選定された柄が均一なもの和不均一なもの2種類を用い、照明環境は実際の家具展示場の照明環境と一般家庭の照明環境を実験室内に再現した2条件を用いた。評価はVisual Analog Scale法を用いて「シンプル」「ランダム」「好き」「嫌い」の4用語を評価した。その結果、「ランダム」の評価に与える照明環境の違いは少ないが、「シンプル」の評価は照度が低い一般家庭の照明環境で困難であったことが示唆された。また、照明条件の違いは嗜好にも影響を与えることが示唆され、条件によってはサンプルの順位が逆転する可能性も観察された。

1. 緒言

木材からテーブル天板等の面材を工業的に製造する場合には、個々の木材(エレメント)を幅方向にはぎ合わせた「幅はぎ集成材」や芯組みに表面材を貼りつけた「フラッシュパネル」を用いることが多い。中でも幅はぎ集成材は、一枚板に近い木質感や重厚感があるのが特徴である。また、幅はぎ集成材の柄合わせパターンは、同じ樹種のエレメントを用いても、個体や組み合わせによって千種万様となる。

他方、製品の見た目の印象が消費者の購買意欲に影響を与えることは、木製品に限らず当然のことであり、幅はぎ集成材の柄合わせパターンの違いも購買行動の判断材料となりうる。そのため、さまざまな幅はぎ材の見た目が消費者に与える印象を評価することは有意である。そこで、一連の本研究では、人の感性に対応した幅はぎ集成材の設計指針の導出を目的とし、さ

まざま幅はぎ集成材の感性評価と画像解析を行っている^{1,2)}。

一方で、物体の見た目は環境の照明特性、物体の反射特性、眼の視覚特性の3要素から決定されるが、前報^{1,2)}においては主に観察対象(反射特性)の違いを実験対象としていた。しかし、実際の生活環境においては照明の違いが物体の印象に与える影響も無視できない。例えば、店舗で実物を確認して購入した製品を自宅に持ち帰るとその見た目の印象が異なるという事態が起こりうる。そこで、本報告では柄の違う幅はぎ材の見た目の評価を異なる照明環境下で実施し、照明の違いが幅はぎ集成材の見た目の印象に与える影響を調査した。本報告の目的は、照明の違いが幅はぎ集成材の視覚的印象に与える影響の基礎的検討として、照明環境の違いによって幅はぎ集成材の視覚的印象評価の結果が変わりうるのかどうかを確認することである。

*1 試験研究部

*2 岐阜県立木工芸術スクール

2. 方法

2.1 評価用の柄合わせパターンの選定

本報告では家具を中心とする木製品に多く利用されているレッドオーク (*Quercus rubra*) のまさ目材15本 (長さ400 mm×幅42 mm×厚み25 mm) を無作為に選んだ片面を表面と定義して幅はぎ集成材のエレメントとして用いた。この15本のエレメントの中から5本を選び、幅方向にボルトで締結することで、柄の異なる幅はぎ集成材を作成した (長さ400 mm×幅210 mm)。幅はぎ集成材の柄合わせパターンは、15本から5本を選ぶ組み合わせ数 (${}_{15}C_5$ 通り) とその5本の並べ方の数 ($5!/2 \times 2^5$ 通り: エレメント上下を考慮、表面のみ、組み合わせ後の反転パターンは同一と扱う場合) の積 (5,765,760通り) だけ存在するが、本報告では、柄合わせパターンの作成実験とそのパターン分類を行った前報¹⁾の結果を参考に、2通りの柄を評価サンプルとして用いた。この2通りの柄は、被験者が作成した36枚の柄合わせパターンを画像解析の結果に基づいて分類した結果から、均一な柄のグループと不均一な柄のグループからそれぞれ抽出した柄である。以降、均一な柄のグループから選定した評価サンプルをEven、不均一な柄のグループから選定した評価サンプルをUnevenと表記する。図1に評価サンプルの柄と分類の根拠とした多重解像度コントラスト解析³⁾(MRCA)の結果を示す。MRCAは、画像を異なるフィルターサイズでモザイク化し、隣接するモザイクブロック間のコントラストを求める解析方法であり、どの程度のサイズの特徴が視覚的に目立つかを数値化できる。図1の結果から、Unevenは10 mm以上のサイズに大きなピークがあり、エレメント間のコントラストが目立つ柄であることを示している。また、Evenのコントラストのピーク位置は1 mm以下のサイズであり、孔圏(道管の集まり)が目立ち、エレメント間のコントラストは目立っていないことを示している。

2.2 照明環境の再現

本報告では、家具製品を観察する代表的なシチュエーションとして家具展示場と一般家庭のダイニングを選定し、それぞれの照明の分光分布を分光照度計 (THOUSLITE Spectrometer) によって測定した。測定位置は家具展示場と一般家庭のダイニングともに設置されているダイニングテーブルの中央部とした。家具展示場の照明は天井照明とテーブル上部のペンダントライト (ともに暖色系のLED) であり、一般家庭のダイニングの照明は昼光色の蛍光灯と窓からの太陽光であった。

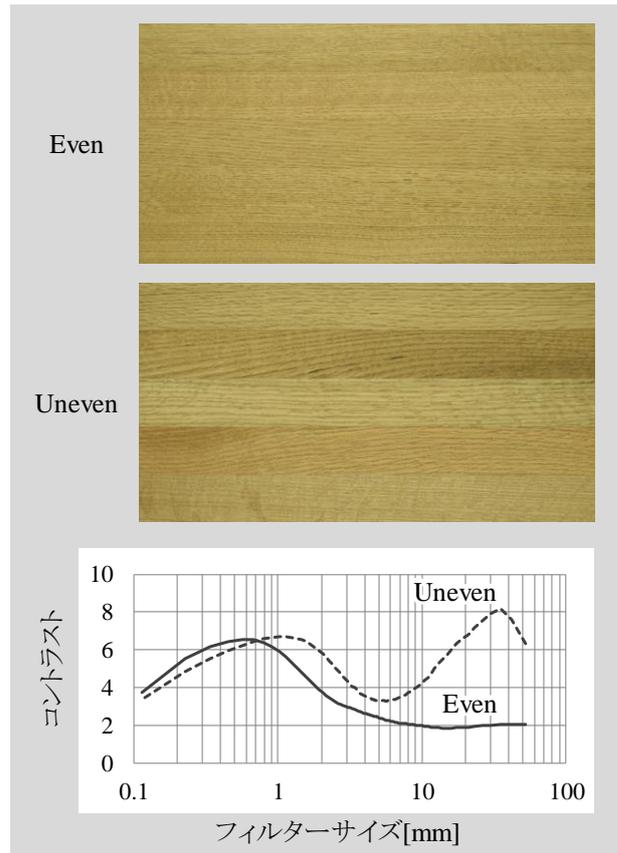


図1 評価用の柄合わせパターンと多重解像度コントラスト解析の結果

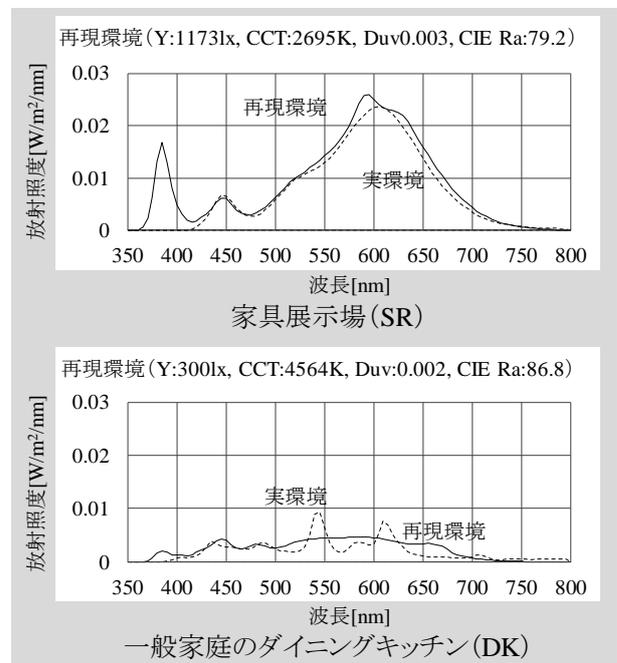


図2 実際の照明環境と実験室内に再現された照明環境の分光分布

印象評価の際は、測定された照明環境を統制された環境下で正確に再現するために、波長の異なる複数の LED を制御して様々な照明環境を再現できる照明装置(THOUSLITE LEDCube)を用いた。照明装置は暗室内の観察ボックス上部に設置し、家具展示場の照明環境(SR 条件)と一般家庭のダイニングの照明環境(DK 条件)をそれぞれ再現した。再現された照明の分光分布を図 2 に、実験の状況を図 3 に示す。

2.3 印象評価

印象評価は紙面による Visual Analog Scale 法によって行った。評価用語は、均一さ/不均一さに関する用語として「シンプルな」と「ランダムな」、嗜好に関する用語として「好き」と「嫌い」の合計 4 語を用いた。評価用語ごとに長さ 100 mm の線分を用意し、左端を「全くない」、右端を「非常に」とし、印象にもっとも適すると思う線分上の位置に印をつけることで評価を行った。分析の際は、線分の左端から印までの距離を 1 mm 単位で計測し、評価値とした。

被験者は 28 名(男性 21 名、女性 7 名、10 代～20 代)とし、14 名には Even/SR、Uneven/DK の 2 条件を評価させ、残りの 14 名には Even/DK と Uneven/SR の 2 条件を評価させた。

分析では、サンプルと照明の組み合わせ 4 条件を要因とし Bartlett 検定によって等分散性を検定したのちに、分散分析を行うことで条件間の評価の差を考察した。なお、分析の際には評価値の読み取りが不可能であった 1 名分の結果を除外した。

3. 結果と考察

3.1 均一さ/不均一さの評価

各評価用語の評価値の結果を図 4 に示す。「シンプルな」の評価においては、等分散性の検定において帰無仮説(4 群間の分散が等しい)が棄却された($p < .01$)ため、評価条件ごとに分散が異なると考えられた。図 4 の結果より、特に Uneven/DK 条件で標準偏差が大きいことが確認される。平均値の大小関係に着目すると、SR 条件では「シンプルな」に Even>Uneven の傾向が強いが DK 条件ではこの傾向は小さい。したがって、SR 条件は柄の均一さを評価しやすい照明環境であると考えられるが、DK 条件は、Uneven の均一さの評価に個人差が大きく表れており、柄の均一さを評価しにくい照明環境であると考えられる。この照明条件間の違いの原因は、照度が DK 条件のほうが小さいために Uneven のエレメント境界の知覚に弁別能力の個人差が現れたためだと考察される。

一方、「ランダムな」の評価においては、等分散性の検定において帰無仮説の棄却が保留($p > .05$)され、分散分析の主効果が有意($p < .05$)であった。このことより、

条件間で評価のバラつきは同程度で、条件による評価の差があったと考えられる。平均値の大小関係に着目すると、いずれの照明条件でも「ランダムな」に Uneven>Even の傾向があり、この傾向の照明条件での違いは小さかった。



図 3 実験の様子
(左:Uneven/DK、右:Even/SR)

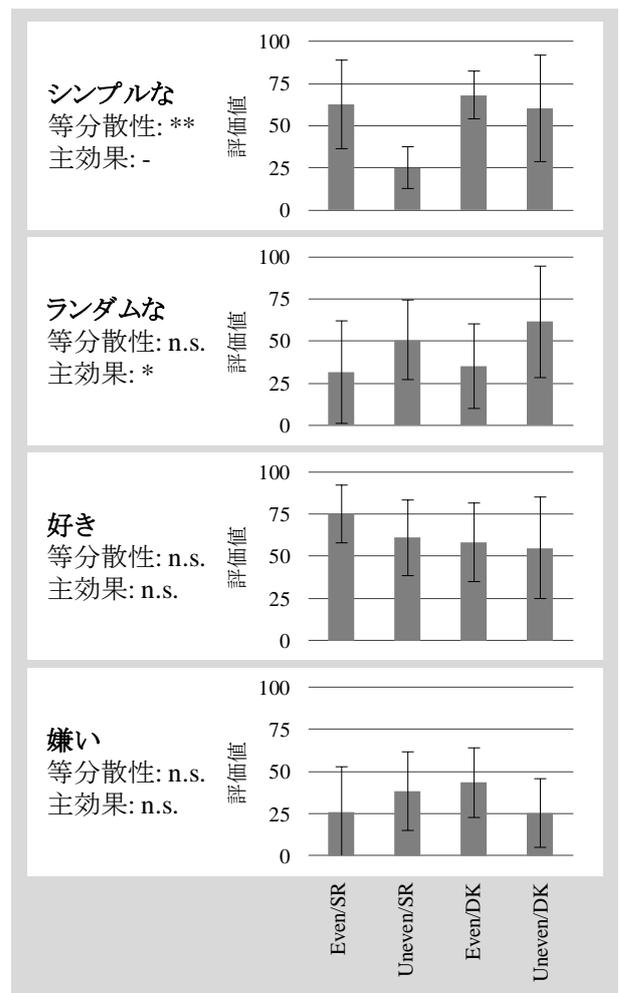


図 4 各評価用語の評価値
(平均値と標準偏差、*: $p < .05$, **: $p < .01$)

以上より、照明条件の違いは柄の均一さの評価には影響を与えるが不均一さの評価に与える影響は限定的だと考えられる。この原因として、まず、「シンプルな」と「ランダムな」の評価は完全な対比関係にある用語ではないと考えられる点が挙げられる。また、不均一さと対応する「ランダムな」の評価は照度が不足した環境でも敏感に判断でき、均一さと対応する「シンプルな」の評価はサンプルが見えにくい環境では明確に判断できなかったという可能性も考えられる。

3.2 嗜好の評価

「好き」と「嫌い」の評価ではどちらの用語においても等分散性の検定で帰無仮説の棄却が保留 ($p>.05$) され、条件間の主効果に有意差は見られなかった ($p>.05$)。統計的には条件間で評価の違いがあったとは言えなかったが、照明環境の違いが嗜好に与える影響の可能性を考察するために、ここでは平均値の大小関係の傾向に着目する。SR 条件において、「好き」では Even>Uneven、「嫌い」では Even<Uneven という対比する傾向が見られるが、DK 条件では「好き」「嫌い」に対比する傾向が見られず、「嫌い」において SR 条件と反対の Even>Uneven という傾向が見られた。このことより、照明条件の違いは嗜好にも影響を与えることが示唆され、条件によってはサンプルの順位が逆転する可能性も観察された。

3.3 本研究の課題

本研究の実験結果から、照明環境が幅はぎ集成材の視覚的印象に影響を与えることが示唆されたが、この結果は評価サンプルと照明環境に依存する。特に均一さ/不均一さの評価には照度の影響があると考察されたが、照明環境の測定パラメータは照度以外にも色温度や色偏差等さまざまである。したがって、個々のパラメータを系統的に変化させた実験や、複数のパラメータの組み合わせた実験を実施する必要がある。ただし、これらの実験設定は無数に及ぶため、今回の実験条件のような実際に家具を観察しうる照明環境を中心に条件を展開するのが現段階では現実的な手法であると考えられる。

また、本研究では、実験実施の簡便さから被験者を半数ずつのグループに分け、異なる 2 条件ずつを評価させたが、本来は一人の被験者に全条件を提示する実験設定か一人の被験者に一つの実験条件しか提示しない実験設定のどちらかを用いる方が望ましい。また、特に嗜好の評価においては個人差や被験者属性の違いが大きいことも予想されるため、一般消費者層を含めた被験者を募り、評価傾向が近い被験者ごとに結果を分析することが有効であると考えられる。

4. まとめ

本報告では、照明の違いが幅はぎ集成材の視覚的印象に与える影響の基礎的検討として、照明環境の違いによって幅はぎ集成材の視覚的印象評価の結果が変わるのかを確認した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 柄の均一さと対応する「シンプルな」の評価は一般家庭のダイニングを再現した照明環境下で困難になることが示唆された。これは照明の照度が不足し、明暗の弁別能力の個人差が出たためであると考えられた。
- (2) 柄の不均一さと対応する「ランダムな」の評価に照明の違いが与える影響は小さかった。
- (3) 嗜好に関する評価では、平均値の大小関係から、照明の違いは嗜好にも影響を与えることが示唆され、条件によってはサンプルの順位が逆転する可能性も観察された。

一方、本報告の結果は評価サンプルおよび実験条件に依存するため、今後は評価サンプルおよび照明条件を系統的に展開させた実験が有効であると考えられる。また、被験者と評価条件の組み合わせなど、実験条件の再検討も課題である。今後、これらの検討を加えることで、木製品を観察するのに適した照明環境が明らかにしたり、一般家庭の照明環境での視覚的印象を予測したりすることが可能となると期待される。

参考文献

- 1) 山口穂高ほか:ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出(第1報)画像解析を用いた柄合わせパターン分類, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.34-37, 2019.
- 2) 山口穂高ほか:ヒトの感性に基づいた幅はぎ集成材の設計指針の導出(第2報)柄の異なる木製天板を評価する用語の調査, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.21, pp.38-42, 2019.
- 3) Masashi NAKAMURA et al.: Multiresolutional Image Analysis of Wood and Other Materials, J Wood Sci Vol.45, pp.10-18, 1999.

木材の触覚特性の数値化と手触り感に関する指針の提案 接触時の力と速度が摩擦および振動特性に与える影響

藤巻吾朗^{*1}, 山口穂高^{*1}, 宮川成門^{*1}

Digitalization of Tactile Characteristics of Wood and Proposal of Guidelines for Tactile Sensation Effect of Contact Force and Speed on Frictional and Vibrational Characteristics

FUJIMAKI Goroh^{*1}, YAMAGUCHI Hodaka^{*1}, MIYAGAWA Naruto^{*1}

本研究では触覚に関する客観的な指標を抽出し、木材本来の手触り感を製品に生かすための指針を提案することを目的とする。本年度は、その前段階として、人の指紋を模した接触子を用いて物体摩擦時の速度と垂直荷重が摩擦特性および振動特性に与える影響について調査した。摩擦特性については測定時の速度の影響が大きく、速度が遅い方が材料による摩擦特性の差が明確になると考えられた。また、測定時の垂直荷重はあまり影響しないと考えられた。振動特性は、垂直荷重が小さい条件では速度の影響は小さいが、垂直荷重が大きい条件では速度の影響が大きいことが確認された。荷重が大きく、速度が速い条件では入力される振動刺激が減少し、手触り感を評価するのが困難になると考えられた。これらから、手触り感の評価の指標を検討するにあたり、測定条件は垂直荷重が小さく速度が速い条件、垂直荷重が大きく、速度が遅い条件の2条件が少なくとも必要であると考えられる。今後は得られた知見をもとに実際に人が触ったときの触覚動作や主観評価との対応関係を調査し、手触り感の客観的な評価指標の抽出や製品に生かすための指針の提案に繋げる。

1. 緒言

手で触るという行動は、触っただけで対象に対する所有感が増すことが報告されており¹⁾、愛着感や購買意欲の向上に繋がるのが考えられる。皮や木材などの生体由来の素材は触覚が好まれる傾向があり²⁾、自動車の内装材やパソコンの液晶カバー、壁紙のプリント材のように様々な製品で金属やプラスチックの触覚を生体由来の素材に近づけるような試みがなされている。一方で、木材を使った製品のほとんどは衛生面や機能面から塗装されており、塗装方法によっては木材本来の触覚が製品段階では生かされていないことが懸念される。

触覚は、凹凸感(マクロな粗さ)、粗滑感(ミクロな粗さ)、硬軟感、温冷感、摩擦感(または乾湿感)の5つの要素で構成されていると言われており³⁾、触覚を評価する際の触覚動作についても報告されている⁴⁾。この中でも特に粗滑感、摩擦感は表面の手触り感に関連の深い要素であり、日常レベルでその評価を行う際に

は手で表面を「なでる」、もしくは、「なぞる」や「こする」のような触覚動作を伴う。その触覚動作において、手を押し込む力や手の動きの速度を人は様々に変化させていることが報告されている⁵⁾。しかし、材料の物理特性と手触り感(特に粗滑感、摩擦感)の関連性には、まだ不明な点が多く、押し込み力や速度が粗滑感や摩擦感に与える影響については異なる結論が報告されているのが現状である。実際に人が触って評価する場合には、手の湿潤状態や指紋の違いがあり、触覚動作も異なるため、基準となる測定条件を求めるのは困難であるが、製品設計に関わる指針を提案する上では、物性値の測定方法について基準を設ける必要がある。

本研究では、客観的な測定をもとに触覚(主に表面の手触り感)に関する指標を抽出し、木材本来の手触り感を製品に生かすための指針を提案することを目的とする。本報告では、その前段階として、人の指紋を模した接触子を用いて物体接触時の速度と垂直荷重が摩擦および振動特性に与える影響について調査した。これにより、手触り感との関連性の高い指標(測定条件)の検討を行う。

^{*1} 試験研究部

2. 実験方法

2.1 測定サンプル

測定サンプルには、表1に示した木材サンプル40種類および生地4種類（ビニルレザー2種類、ファブリック2種類）、アクリル板、アルミテープを用意した。木材サンプルおよびアクリル板のサイズはすべて80mm×80mm×8mmとし、生地およびアルミテープについては、8mm厚のMDFの片面にスプレーのりでサンプルを貼り付けた。また、木材サンプルの塗装は図1に示した手順で行った。なお、木材の無塗装条件については、研磨はせずにプレーナーで表面を削ったものを使用した。

表1 木材サンプルの概要

要因	条件数	内容
樹種	5条件	ナラ、ブナ、ケヤキ、スギ、ブラックウォルナット(BW)
木目	2条件	マサ目、イタ目
塗装	4条件	無塗装、オイル塗装、ウレタン塗装、ノンスリップ系ウレタン塗装

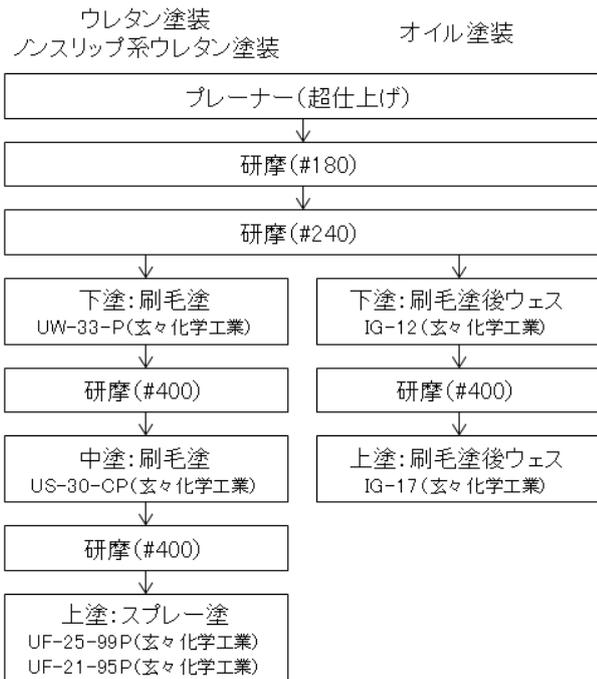


図1 木材サンプルの塗装の手順

2.2 測定内容

各測定サンプルについて、図2に示した①～⑥の計6箇所の静摩擦、動摩擦測定および振動測定を行った。測定条件は垂直荷重2条件（30gf、100gf）、速度2条件（10mm/s、30mm/s）であった。測定時の室内環境の温度は20～22℃、湿度は38～44%であった。

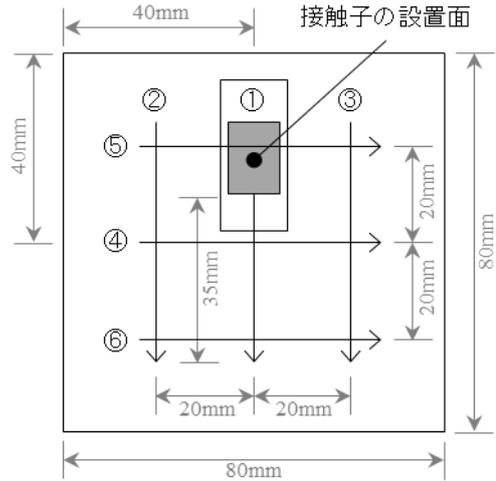


図2 測定箇所

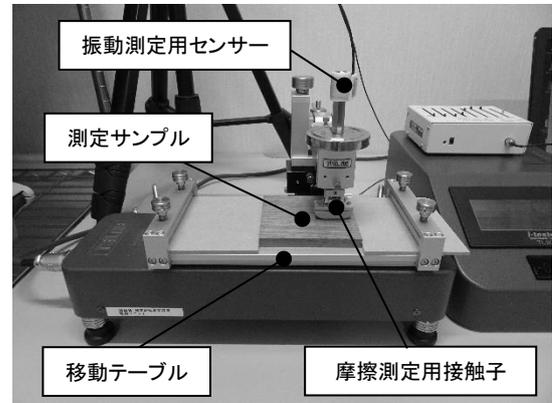


図3 測定風景

2.2.1 摩擦特性の測定とデータ処理

静・動摩擦測定機 TL201Tt（株式会社トリニティーラボ）を使用し、静摩擦および動摩擦の測定を行った。測定の際は、触覚子に人の指紋パターンを模した触覚接触子⁶⁾を使用した。測定結果から、静摩擦係数（水平方向の最大荷重/垂直荷重）、動摩擦係数（測定開始地点から10mm～30mmでの水平方向の荷重の平均/垂直荷重）を計算した（図4）。

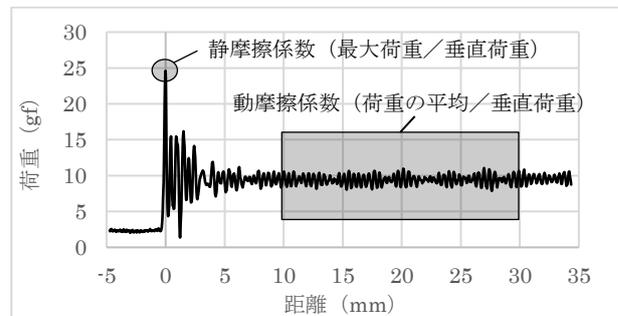


図4 静摩擦係数と動摩擦係数

2.2.2 振動特性の測定とデータ処理

触覚伝達・触覚呈示ゆびレコーダー（株式会社テック技販）を静・動摩擦測定機 TL201Tt に取り付け接触子に伝わる振動の測定を行った。測定結果について、バンドストップフィルタ（60Hz 付近）およびハイパスフィルタ（5Hz）を適用し、Welch 法により 1Hz 毎のパワースペクトル密度（以下 PSD）の推定を行った。推定された PSD の 500Hz 以下の周波数帯域の値の総和を求め、接触子に伝わる振動の強さの目安とした。

3. 結果と考察

3.1 摩擦特性について

木材サンプルについて、繊維方向と繊維直交方向で測定した静摩擦、動摩擦にあまり差は見られなかった（図 5）。そのため、各サンプルの 6 測定分の平均値を計算し、測定時の垂直荷重や速度の影響、サンプル間の違いについて検討を進めた。

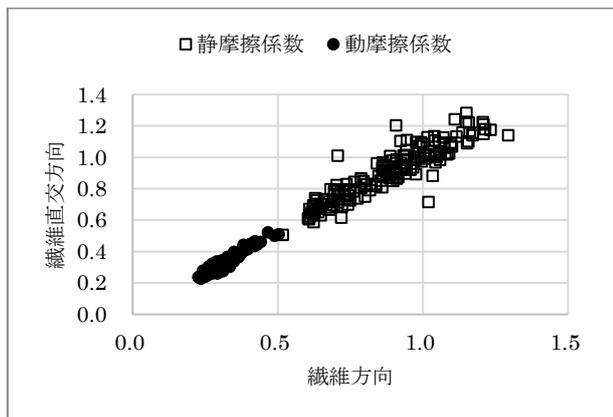


図 5 繊維方向と繊維直交方向での摩擦特性

付録 1 にすべての測定結果を散布図にしたものを示す。測定条件により摩擦特性にばらつきが生じるもののアクリル板やアルミテープと比較すると木材は静摩擦係数、動摩擦係数ともに低い傾向が見られた。

木材サンプルのみに着目すると、無塗装の木材は静摩擦係数が 0.8~1.2 付近、動摩擦係数が 0.3~0.5 付近に分布しており、先行研究で実際に人が指で触った場合と比べるとやや高い値であった⁷⁾。塗装を施すことで動摩擦係数が低下し、樹種間のばらつきが小さくなる傾向が見られた（図 6）。

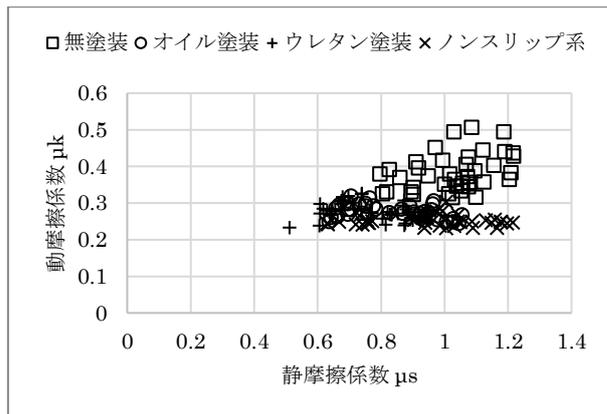


図 6 木材サンプルの摩擦特性

測定時の垂直荷重や速度が変わることで、静摩擦係数、動摩擦係数は変化しており、その変化は一樣でなく、サンプルにより異なっていた（図 7~図 10）。速度 30mm/s の条件では、無塗装以外の条件がほぼ同じ領域に分布していたのに対し、速度 10mm/s の条件では、ノンスリップ系ウレタン塗料（以下ノンスリップ系）の静摩擦係数が他の塗装材と比べて高い値を示した。

粘着感や湿潤感と関わりの強い摩擦感は、基本的には静摩擦係数と動摩擦係数により評価されることが考えられる。今回の結果は、材料の摩擦感の評価する際、触察動作の速度を遅くすることで、その判別能力が向上することを示している。さらに材料に対する押し込み力を大きくすることでその判別能力が向上すると考えられるが、押し込み力のみを大きくしても速度が変わらない場合は、摩擦感の評価にはあまり影響しないことが推察された。

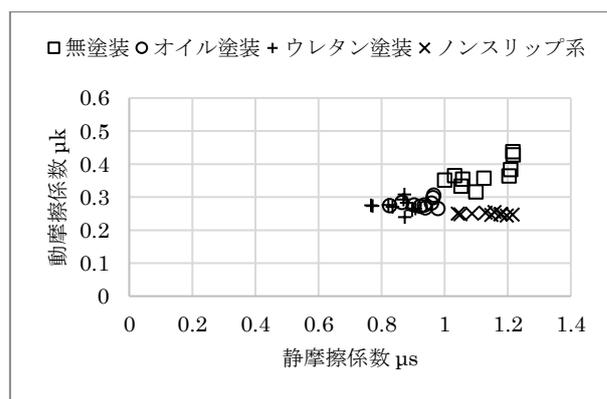


図 7 垂直荷重 30gf 速度 10mm/s での摩擦特性

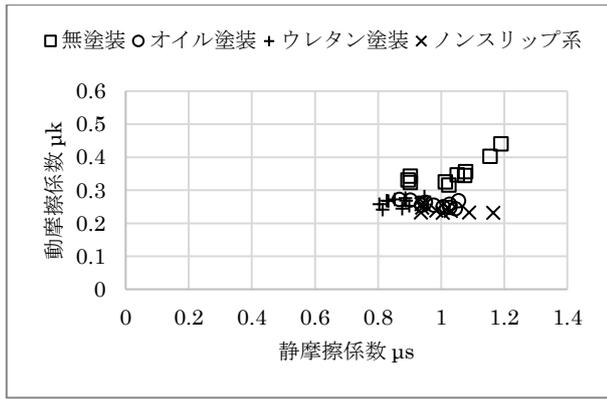


図8 垂直荷重 30gf 速度 30mm/s での摩擦特性

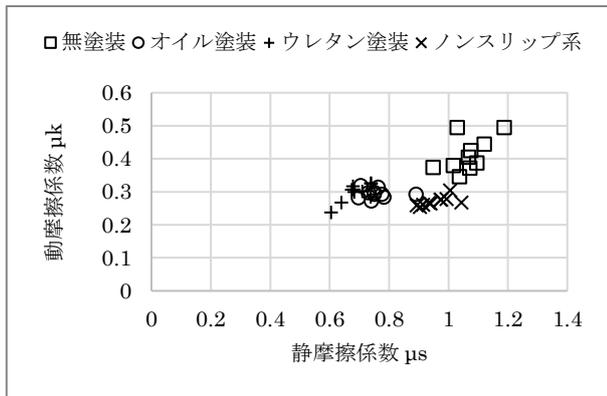


図9 垂直荷重 100gf 速度 10mm/s での摩擦特性

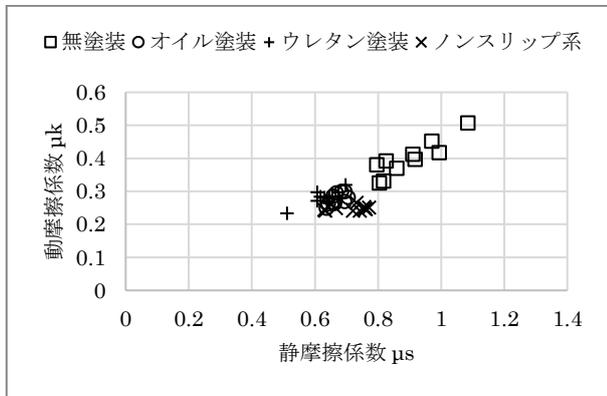


図10 垂直荷重 100gf 速度 30mm/s での摩擦特性

3.2 振動特性について

推定された PSD の総和を図 11 に示す。垂直荷重 30g では、速度が変わっても PSD の総和にあまり違いはなかったが、垂直荷重 100g では、速度 10mm/s に比べて速度 30mm/s の条件で接触子に伝わる振動の強さが低下した。

これは、振動が関連する粗さなどの手触り感の評価には評価対象の面積が影響することが考えられる。小さな面積を評価する場合には、材料への押し込み力を強く、ゆっくりと動かし、大きな面

積を評価する場合には、手の動きを速くする必要があるので、材料への押し込み力を小さくすることが、手触り感の評価に有効であると考えられる。先行研究では、手触り感の評価の際の人の手の動きの速さは 10~157mm/s 程度の範囲に収まり⁸⁾、また点字を読む速度は 60~125mm/s で、探索中に興味ある刺激を見つけると、手の動きは極端に遅くなると言われている⁹⁾。今回の結果はこれらの知見を補足すると考えられる。今回の実験では 10mm/s、30mm/s の 2 条件であったが、100mm/s 程度の条件も検討する必要があると考えられた。

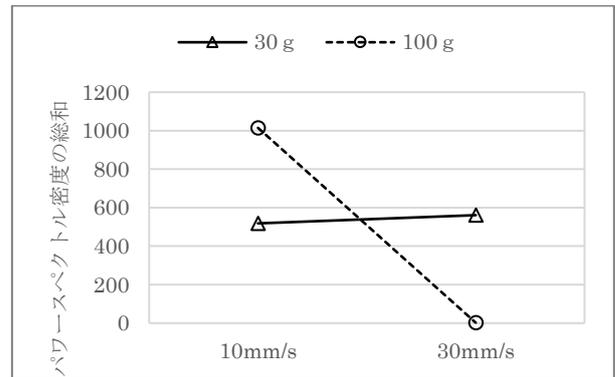


図11 推定された PSD の総和

4. まとめ

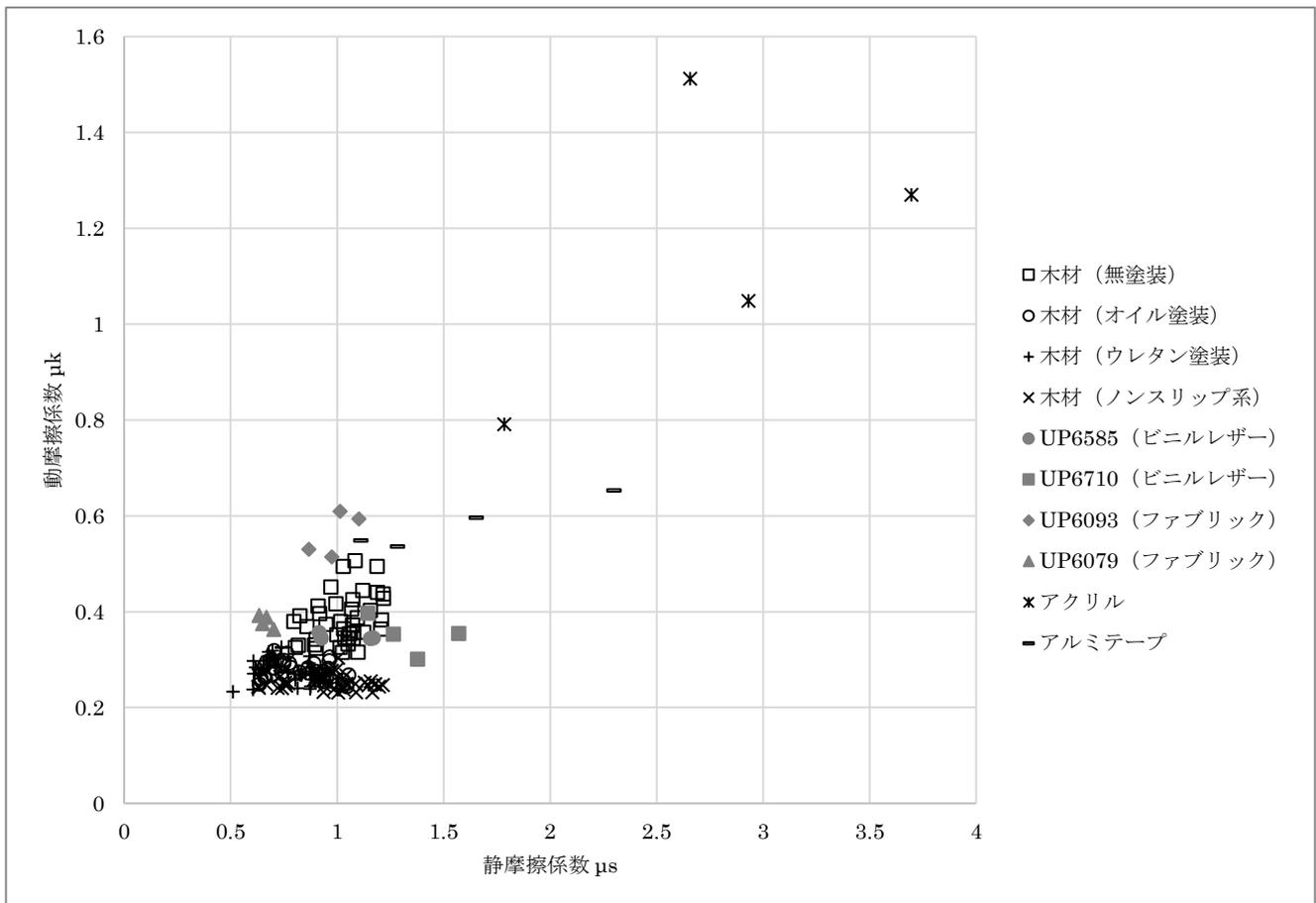
得られた知見を以下に示す。

- 摩擦特性は測定時の速度の影響が大きく、速度が遅い条件の方が摩擦特性による材料の判別が容易になると考えられた。測定時の垂直荷重はあまり影響しないと考えられた。
- 振動特性は、垂直荷重が小さい条件では速度の影響は小さいが、垂直荷重が大きい条件では、速度が速いと入力される振動刺激が減少し、手触り感の評価するのが困難になると考えられた。
- 手触り感の評価の指標を検討するにあたり、測定条件は「垂直荷重が小さく速度が速い条件」、「垂直荷重が大きく速度が遅い条件」の2条件が少なくとも必要であると考えられた。荷重や速度の具体的な数値については検討の余地が残る。

今後は得られた知見をもとに実際に人が触ったときの触察動作や主観評価との対応関係を調査し、手触り感の客観的な評価指標の抽出や製品に生かすための指針の提案に繋げる。

参考文献

- 1) Peck J., Shu S.B.: The effect of mere touch on perceived ownership, *Journal of Consumer Research*, 36, 3, pp.434-447, 2009.
- 2) 宮下高明, 前野隆司, 野々村美宗: 生物由来の物質の触感と表面物性, *色材協会誌*, 84, 5, pp.169-172, 2011.
- 3) 永野光, 岡本正吾, 山田陽滋: 触覚的テクスチャの材質感次元構成に関する研究動向, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, 16, 3, pp.343-353, 2011.
- 4) Lederman S. J., Klatzky R. L.: Hand Movements: A Window into Haptic Object Recognition, *Cognitive Psychology*, 19, pp.342-368, 1987.
- 5) 横坂拓巳, 渡邊淳司: 手の動きと結びついた触質感認知の研究, *人工知能学会全国大会論文集*, 2L2-OS-09a-4, 2017.
- 6) 野村俊夫: 指紋模擬加工した検知子を使った摩擦測定装置, *表面技術*, 70, 3, pp.147-150, 2019.
- 7) 野々村美宗: 生体由来の物質の触感とトライボロジー, *オレオサイエンス*, 11, 8, pp.277-282, 2011.
- 8) Smith A.M., Chapman C.E., Deslandes M., Langlais J.S.: Thibodeau M.P., Role of friction and tangential force variation in the subjective scaling of tactile roughness, *Experimental Brain Research*, 144, pp.211-223, 2002.
- 9) 岩村吉晃: 能動的触覚 (アクティブタッチ) の生理学, *バイオメカニズム学会誌*, 31, 4, pp.171-177, 2007.



付録1 全測定サンプルの摩擦特性

家具製造現場におけるトレーサビリティ基盤技術の開発（第1報） スマートフォンとブロックチェーンを用いた 製造情報登録システムの開発

森茂智彦*1

Basic Technology Development of Traceability in the Furniture Manufacturing Field(1) Development of Manufacturing Information Registration System

MORIMO Tomohiko*1

家具製品の製造に使用した木材の個体情報を記録し、後から追跡できることを目的とした、トレーサビリティシステムの開発を行っている。その基礎的な検討として、使用する木材の情報と製造する製品の情報を記録するシステムを開発した。情報入力にはスマートフォンを用いて行い、情報の保存にはブロックチェーンを用いた。入力した情報はブロックチェーン上に暗号化されて記録されることを確認した。現状は記録できる情報が少ないため、今後の課題として、製品個体や工程毎に木材の情報を記録できることが挙げられた。

1. 緒言

様々な業界で、製品の製造履歴を記録し追跡が可能な状態にするトレーサビリティが進められている。トレーサビリティを実現することで、食品偽装問題に対する信頼性向上に繋がったり、製造品のクレーム時の対応に用いたりすることができる。

林業では違法伐採ではない木材であることを証明するためのトレーサビリティの取り組みが行われているが¹⁾、その後の過程にある木製家具製造業界では製品に使用している木材の個体情報を記録することは一般に行われていない。理由として、家具製造現場では、一枚の大きな板から材料を切り出し、複数の製品を製造することが多く、さらに複数の樹種の木材を一つの製品に用いることがあるため、製造時の木材の流れが不規則であり、取り組むには労力を要することが一因であると考えられる(図1)。

そこで本研究では、製品に使用している木材の個体を特定できることを目標に、製造履歴を簡易に記録できる方法について検討する。そのための課題として、製造情報を記録するシステムの開発とそのシステムの中で木材の個体を識別するシステムが必要である。本報では前者のシステム開発

の第一歩として、使用する木材情報と製品情報を記録するシステムを開発したので結果を報告する。

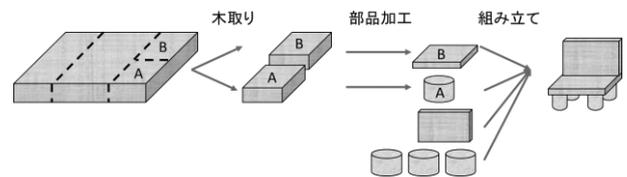


図1 製造の流れの例

2. システム構成

2.1 概要

システム構成図を図2に示す。木材には予め、木材情報を登録したQRコードを貼り付けておく。作業者は木材を使用する際、スマートフォン端末の専用アプリケーションを用いて、使用する木材と製品の情報を入力し登録する。木材情報は木材に貼り付けたQRコードをスマートフォンのカメラで読み込み取得する。製品情報は予め製品リストを作成しておき、その中から選択する。リストにない場合のため、手入力も可能とする。情報はスマートフォンからサーバへ転送されサーバ上に記録される。記録された情報は他のパソコン等から閲覧することができる。サーバでは、データベースに情報を登録すると同時に、ブロックチェーン上に情報を暗号化したものを記録する。ブロックチェーン

*1 試験研究部

上に情報を登録すると得られるハッシュ値は、データベース上に記録する。

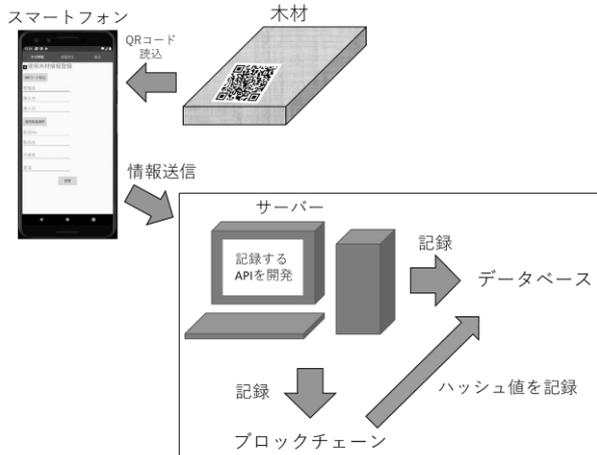


図2 システム構成図

2.2 QRコードに登録する情報

木材に貼り付けるQRコードには表1に示す情報を登録する。それぞれの情報をカンマ区切りで一つの文字列に繋げてQRコードを生成する。

表1 QRコードに登録する情報

項目
樹種名
購入先
納品日

2.3 専用アプリケーション

Androidのスマートフォン端末で動作する情報入力用アプリケーションを開発した。

アプリケーションの画面を図3に示す。

QRコード読み込みボタンを押すとカメラが起動する。木材に貼り付けたQRコードを読み込むことで木材情報を入力することができる。

適用製品選択ボタンを押すと製品リストが表示される。その中から製品を選択することで製品情報を入力できる。

木材情報と製品情報は直接手入力することもできる。

作業員名と室温を入力し、登録ボタンを押すと情報がサーバへ転送され登録される。木材は室温による影響を受けるため、使用時の室温も入力することとした。

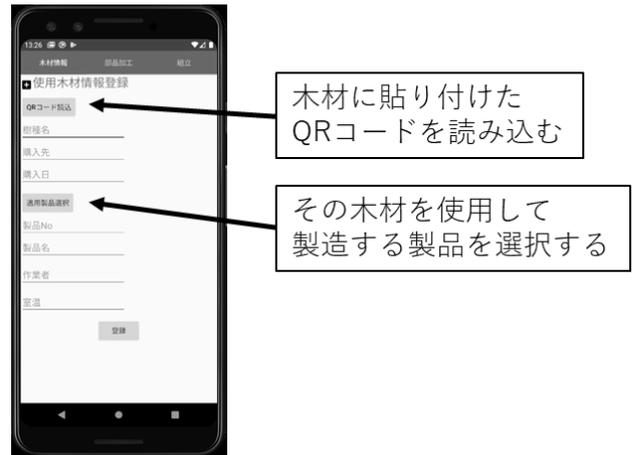


図3 アプリケーションの画面

2.4 ブロックチェーンを用いた記録

サーバに情報を記録する際、データベースに記録すると同時に、サーバ内に構築したプライベートブロックチェーン上に情報を記録する。ブロックチェーンとは、データをチェーン状につなげて保存する技術であり、仮想通貨等に使用されている。ブロックチェーンのメリットとして、改ざんが非常に難しいという点が挙げられるため、記録情報に対する信頼性を高めることができる。

今回は、オープンソースのブロックチェーンプラットフォームである「イーサリアム」を用いる。構築にはイーサリアムのクライアントソフトであるGethを使用する。

イーサリアムでは、スマートコントラクトと呼ばれる契約を自動化する機能が備わっている。契約内容は自らプログラムを作成することで定義することができ、例えば売買契約における商品の内容をブロックチェーン上に記録することや、売買条件を定めておき、その条件を満たした時に売買を実行することができる。

スマートコントラクトを使わない場合、ブロックチェーン上には仮想通貨をやり取りした情報のみ記録されるが、スマートコントラクトを用いると上記の例のように、文字列情報を記録することができる。そこで文字列情報として、製造情報と登録日時を記録するスマートコントラクトを定義した。製造情報として、アプリケーションに入力した内容をカンマ区切りで一つの文字列にし、さらにSHA-256で暗号化したものを記録する。登録日時は暗号化せず記録する。

- message : 入力した製造情報 (暗号化)
- createdAt : 登録日時

3. 提案システムの検証と考察

システムを構築し、実際の木材にQRコードを貼り付けてアプリケーションの検証を行った。検証に用いた木材情報と製品情報を表2に、木材情報から生成したQRコードを図4に示す。

表2 検証に用いた木材情報と製品情報

種別	項目	内容
木材情報	樹種名	チェリー
	購入先	〇〇株式会社
	納品日	2020/3/16
製品情報	製品No	1
	製品名	椅子A



図4 検証に用いたQRコード(木材情報から生成)

専用アプリケーションを用いてデータを入力し、その情報がサーバ内のデータベースとブロックチェーン上に記録されることを確認した。ブロックチェーンに登録されたトランザクション情報とその情報から復号化した値を図5に示す。登録した情報がブロックチェーン上に記録されたことがわかる。

今後の課題を下記に示す。

- ・製品を複数製造した場合、製品個体毎に記録することができない。
- ・同じ樹種の木材を同日に同じ納入先から納入した場合、木材の個体を把握できない。
- ・実際の現場では、部品加工者と組立作業者が異なる場合があり、それぞれの工程毎に記録できるようにする必要がある。

4. まとめ

製造時に、木材情報と製品情報を記録するシステムの構築を行った。データ入力、開発したスマートフォンの専用アプリケーションを用いて行った。入力データの記録にブロックチェーンを活用することで、信頼性の高いシステムとした。

現状は記録できる情報が少ないため、今後の課題として、製品個体や工程毎に木材の情報を記録できるようにする必要がある。

謝辞

本研究の一部は、公益財団法人遠藤斉治朗記念科学技術振興財団の助成により実施した。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 三浦逸郎：地域材利用促進のための木材トレーサビリティシステムに関する研究，九州大学学術情報リポジトリ，2014.

<トランザクション情報>

ハッシュ値：0x4fc728447d218d51ab2f4cba81d58554f49c841f04ae55de93f9ae85adc0e439

```
{
  "blockHash": "0xb57e6a41c262728006f146b02c282e02f40b24f9be0cb281e276c7521cdf277d",
  "blockNumber": 9569,
  "from": "0xa97292f585285914672160f35668c208fb34882c",
  "gas": 61174,
  "gasPrice": "1000000000",
  "hash": "0x4fc728447d218d51ab2f4cba81d58554f49c841f04ae55de93f9ae85adc0e439",
  "input": "0x9cd38a4900000000000000000000000000000000000000000000000000000000 (略)",
  "nonce": 54,
  "to": "0x8ad0b97e398302255c8566ef4f594348a1b6949a",
  "transactionIndex": 1,
  "value": "0",
  "v": "(略)",
  "r": "(略)",
  "s": "(略)"
}
```

<input の値を復号化>

```
{
  "name": "setMessage",
  "params": [
    {
      "name": "_message",
      "value": "XBP5a2TTxNEfD7Mw6zs8VCTrzSvSif95VdrybLezpEnvW7 (略)",
      "type": "string"
    },
    {
      "name": "_createdAt",
      "value": "2020-03-16 16:15:11",
      "type": "string"
    }
  ]
}
```

<value の値を復号化>

チェリー, ○○株式会社, 2020/3/16, 1, 椅子 A, 田中, 20.0

図5 ブロックチェーン上に記録した情報と復号化した値

国産早生樹種の用材利用に向けた材質・加工特性の解明（第1報） 国産早生樹種の利用用途の提案

村田明宏^{*1}，長谷川良一^{*1}，河合真樹^{*1}

Elucidation of material and processing characteristics
for use of domestic fast-growing tree species (1)
Proposal of application of domestic fast-growing tree species Woods

MURATA Akihiro^{*1}, HASEGAWA Ryoichi^{*1}, KAWAI Maki^{*1}

国産早生樹4樹種について家具および内装材（フローリング）としての適性を評価するため、塗装を実施し従来からある塗装の評価方法などが評価指標となるかどうかを検証した。その結果、今回入手したセンダン、ユリノキ、ユーカリ、コウヨウザンは、通常の木材塗装技術により問題なく塗装できることが確認できた。また、早生樹素材の評価方法として、衝撃試験や鉛筆引っかき硬さ試験において変形量を測定することによりその材質特性を把握できる可能性が示唆された。ユリノキ・コウヨウザンについては、衝撃試験等での変形量が大きく軟質であることから家具等の用材に用いるにはこれを低減化する塗装や圧密化などの処理を検討する必要がある。

1. 緒言

日本の森林は戦後植林したスギ・ヒノキが60年生と高齢級化しその蓄積量は多く、新設住宅着工戸数は人口減少に伴う減少によりが続いており建築用木材などとして量的に確保されている。一方、これまで木製家具にはオーク材やウォールナット材など輸入広葉樹が用いられているが、木製家具業界においてはスギ圧縮材やセンダンなど国産材を利用し、持続可能かつ多様な素材活用による製品開発へシフトしている。

国においても今後の森林の主伐・再造林に向けた植栽可能樹種のニーズの多様化、輸入広葉樹の供給不安などを背景に、国産早生樹種の生産、利用への期待が高まっている。国産早生樹は10~25年生程度の単伐期で収穫できることから、人工林資源の循環利用の促進や林業の収益性改善の点からも期待されている。しかし、国産早生樹種に関しては、利用が始まっているにもかかわらず基礎データが整備されていない。このため、国産早生樹種について、地域性を踏まえた生産（植林・造成）と、木材産業において利用可能なデータ集の整備、そ

の用途別の利用適性を示すプロジェクト研究を国立研究開発法人森林総合研究所が核となって実施されることになった。プロジェクトは大きく分けて、「材質・物理特性」「乾燥特性」「加工特性」、「流通・用途提案」の4つであり、本研究では分担課題として「用途別の利用適性の確認とその評価」を担当している。このため家具・内装材としての適性評価について、既存の試験方法を参考に検討を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本研究は森林総合研究所のプロジェクトチームから支給予定だった材料（伐採場所や時期、乾燥方法、加工条件、基礎物性）の入手が困難であったため、コウヨウザン（*Cunninghamia lanceolata*）以外の試験体は現在の木材市場流通ルートで入手可能なユリノキ（*Liriodendron tulipifera*）、センダン（*Melia azedarach*）、ユーカリ（*Eucalyptus vimvimiris*）を用いた。

また、対照材として国産広葉樹2樹種：ミズナラ（*Quercus crispula*）、ブナ（*Fagus crenata*）を用いた。供試試験体の基本性能を表1に示す。

^{*1} 試験研究部

表1 評価試験に用いた早生樹等の性状

樹種\性状	気乾密度 (g/cm ³)	気乾密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
センダン	0.53	0.50	10.7
ユリノキ	0.40	0.38	10.2
ユーカリ	0.74	0.71	12.9
コウヨウザン	0.37	0.35	10.2
ミスナラ	0.72	0.66	12.0
ブナ	0.82	0.76	11.6

2.2 従来法による適正評価

従来法であるJIS：日本産業規格（JIS K 5600 塗料一般試験方法等）とJAS：日本農林規格（JAS 特殊加工化粧合板、フローリング）を参考に以下の試験を実施した。

2.2.1 塗装

塗装については、ウレタン塗料（溶剤系、水系）、オイル塗料（自然系、ウレタン系）の4種とし、研磨紙P240で処理したのちに所定の標準仕様の工程で刷毛塗りし、20℃以上で乾燥後、定常状態[23℃、50RH]で1ヶ月養生して試験に供した。試験に用いた塗料は、家具や内装材用で、「F☆☆☆☆」かつ「食品衛生試験に対応」した市販の汎用塗料を選択した。また、無塗装も対照とした。

2.2.2 評価試験

塗膜の一般的試験環境[23±1℃、50±3%RH]で、下記により各評価試験を実施した。

①摩耗試験[耐摩耗性摩耗輪法 JIS K 5600-5-9]：テーバー形摩耗試験機（硬質摩耗輪：CS17、荷重4.90N）で100回転実施し前後の摩耗減量を測定しテーバー摩耗指数を求めた。

②衝撃試験1[耐おもり落下性 デュポン式 JIS K 5600-5-3 3.3]：デュポン式衝撃試験機（落下高さ300mm、質量300g）により試験後の表面観察と凹み深さをマイクロメーターで測定した。

③衝撃試験2[耐おもり落下性 落球式 JIS K 5600-5-3 3.2]：落球式衝撃試験機（高さ：750mm、質量500g）により試験後の表面観察と凹み深さをマイクロメーターで測定した。

④引っかかり試験[引っかかり硬度 鉛筆法 JIS K 5600-5-4]：鉛筆引っかかり試験機（手動機械式、日本塗料検査協会検定鉛筆Hi-uni、MITSU-BISHI製）により、凝集破壊（塗膜の割れ・剥がれ）、塑性変形（凹み傷）の確認をするとともに、HBで引っかいた後の凹み量をマイクロスコープの深度計測機能により測定した。

⑤耐光試験[促進耐光性（キセノンランプ法）JIS K 5600-7-7]：スーパーキセノンウェザーメーター（180W/m²、降雨なし）により200時間照射し、色差

計(L*a*b*表色系)により0hr、100hrs、200hrs後を計測し、色の変化（色差）を求めた。

⑥耐汚染性試験[耐液体性（一般的方法）JIS K 5600-6-1、家具-常温液体に対する表面抵抗の試験方法 JIS A 1531]：汚染物質として、しょうゆ、ソース、オリーブオイル、油性ペンを選定し、1時間（食事時間程度）放置し、汚染物質を除去後、蒸留水・エチルアルコールで洗浄、常態1時間後の状態を目視で観察した。

⑦密着性（基盤目テープ法）[付着性（クロスカット法）JIS K 5600-5-6]：造膜試験体について、カッターで1mm×1mmのマスを100マス切り、セロハンテープを付着させ引きはがす操作をした後、表面の状況を目視で観察した。

3. 結果と考察

各評価結果は以下のとおりである。

①摩耗試験：試験体数がn=1で樹種間の差異が明確に出なかった。今回の試験では無塗装のコウヨウザンを除き木床塗料の規格、減量15mg以内を示しており、他の樹種はフローリングの床材として規格内と判断されたが、公共での使用においては、高硬度であるハードタイプのウレタン塗装を用いた利用の可能性を図る必要がある。

表2 摩耗試験結果 [テーバー摩耗指数]

塗料 樹種\	無塗装	溶剤系 ウレタン	水系 ウレタン	自然系 オイル	ウレタン 系オイル
コウヨウ ザン	17.2	7.8	8.6	14.6	10.1
ユリノキ	—	4.5	8.5	7.8	6.5
ユーカリ	3.9	2.2	10.2	2.0	—
センダン	—	5.9	6.9	4.7	—
ブナ	3.5	9.0	6.0	6.2	9.3
ミスナラ	2.5	6.7	9.0	0.3	0.6

※研磨粉により増加したものについては記載せず

②衝撃試験1（デュポン式）：すべて試験体において凹みが発生した。また、ウレタン塗装については一部の試験体で塗膜割れを生じた。素地に比べると塗装した試験体が、凹みが少なくなる傾向を示し効果がみられるが、木材の利用用途により最適な塗装などの表面処理をする必要がある。

③衝撃試験2（落球式）：②とほぼ同様の試験結果を示した。前述のとおり床材フローリングとしての用途を考えた場合、事務用椅子のキャスターによる傷・凹みを生じない程度まで表面性能を上げる必要があり、圧密化やハードコート塗装による性能向上による用途開発の必要がある。

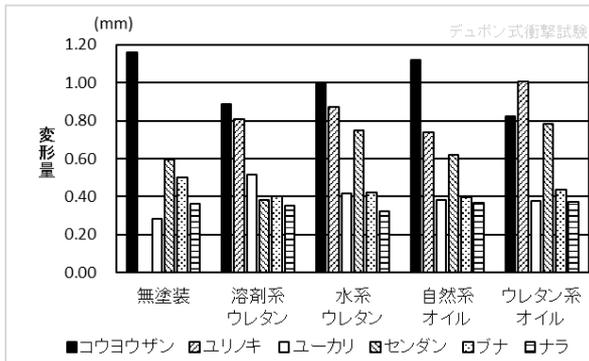


図1 デュポン式衝撃試験による早生樹材の変形量

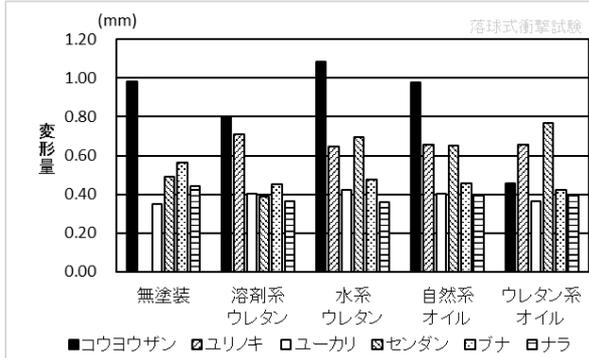


図2 落球式衝撃試験による早生樹材の変形量

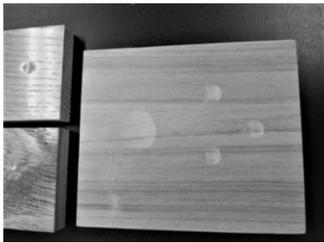


図3 衝撃性試験の試験体の例 [コウヨウザン]
※大きい凹痕が落球式、小さい3つの凹痕がデュポン式

④引っかかり試験：ウレタン塗装ではブナ・ミズナラを含めどの樹種でもHBで凝集破壊（塗膜割れ）を示しておりテーブル天板への利用を考えたとき、前述のとおりハードコート塗装仕上げなど利用用途に応じた表面仕上げを考えるべきである。

さらに、早生樹活用に適した評価手法を探るため、ウレタン塗装以外の試験体についてもHBで評価を行った。鉛筆の芯先にかかる荷重は750gと同様であるが、樹種により凹み量に差がみられた。顕微鏡による深さ方向の解析では、樹種により深さに明確な差があると同時に鉛筆芯による傷の幅も異なっており、深さと幅の計測が樹種の表面硬さの指標となることが示唆された。次年度以降はレーザー顕微鏡や三次元粗さ測定機などにより、深さと幅の正確な計測を行い用途別の利用適性の評価方法としての指標となるかどうかの検討を行う必要がある。

表2 鉛筆引っ掻き試験による引っ掻き傷の凹み量

樹種	凹み量 [μm]
センダン	32
ユリノキ	88
ユーカリ	48
コウヨウザン	155
ミズナラ	47
ブナ	35

※各樹種、オイル塗装（ウレタン系）試験体のHB引っ掻き傷

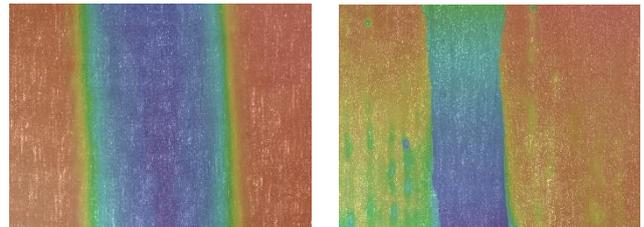


図4 鉛筆引っかかり硬度試験の顕微鏡による高低差分析（色別に表示）

[左：コウヨウザン 右：ブナ]

※深さも異なるが、引っ掻き傷の幅も違っている

⑤耐光性試験：今回は室内用途に限定し降雨なしの条件での試験のみ行なったが、どの樹種も100時間（窓際で数か月程度の受光エネルギー量相当）で色差が3以上となり明らかに変色してクレームとなる色変化を示した。このため室内製品としての用途を考えたとき変色防止処理などが必要となる。今後は紫外線吸収剤や黄変防止塗料などの検討のほかに、屋外利用用途についても検討するため降雨条件を含んだ耐候性試験を実施する必要がある。

表3 耐光性試験結果

（キセノンウェザーメーター照射、色差測定）

樹種 \ 塗装	無塗装	溶剤系ウレタン	水性ウレタン	自然系オイル	ウレタン系オイル
コウヨウザン	10.1	9.0	4.6	7.9	7.4
	11.4	11.8	5.6	10.1	9.4
ユリノキ	—	23.8	9.7	18.6	17.6
	—	28.3	12.0	20.9	20.2
ユーカリ	12.5	12.8	3.5	10.4	10.8
	15.0	17.5	6.9	13.9	15.2
センダン	6.7	12.2	2.8	8.5	9.6
	10.3	15.9	3.9	9.5	10.5
ブナ	17.5	22.5	7.2	10.2	11.1
	19.4	25.9	10.4	12.9	13.6
ミズナラ	12.2	15.9	4.9	7.8	10.5
	15.2	20.7	7.7	11.7	14.7

※上段：0～100時間後の色差、下段：0～200時間後の色差

※色差 3.0以上：色違いによるクレームにつながるレベル



図5 キセノンウェザーメーターによる
200時間後の試験体

⑥耐汚染性試験：ウレタン塗装2種、オイル系塗装2種については、塗料による性能の差だけが顕著であり、しょうゆ・ソース・オリーブオイルによる汚染はすべての塗装で評価5、油性ペンが自然系オイル塗装のみ評価5、それ以外の塗装は評価2であり、樹種の違いによる差はなかった。このため早生樹の利用用途の評価指標として、無塗装の試験体に耐汚染性試験を実施した。従来は塗膜試験での経験しかなかったが、無塗装の木材素地では樹種間で差異が確認された。今後の利用適性評価においても無塗装の試験体で耐汚染性試験を行い利用用途評価の指標としたい。

表4 耐汚染性試験（無塗装の木材素地の結果）

樹種\汚染物質	しょうゆ	ソース	オリーブ オイル
センダン	5	5	2
ユリノキ	5	5	3
ユーカリ	2	5	2
コウヨウザン	2	5	2
ミスナラ	2	2	2
ブナ	2	3	2

※評価点数：5（肉眼で変化なし）、4（光源近くで確認）、3（数通りの方向から確認）、2（明らかに色・光沢変化）、1（ひどい損傷）

⑦密着性試験：造膜塗装（ウレタン塗装2種）について試験した。いずれの試験体も分類0 [カットの縁が滑らかでどの格子の目にもはがれがない。]であったため、どの樹種においても密着性は良好であったと評価できる。また、刷毛塗り塗装性についても、ブナ・ミスナラと同様に違和感なく塗装できたため、今回供試した国産早生樹についてはどの樹種も表面の濡れ性や目はじきなどなく、問題なく塗装して利用できると判断された。

4. まとめ

いずれも従来から行われている試料寸法、設定値で実験を行ったが、試料が早生樹材であることに起因する不都合は認められなかった。したがって、早生樹材の家具および内装材（フローリング）としての適性を評価する手法として、従来法を適用して問題ないことが確認できた。また、刷毛塗り塗装では表面の濡れ性などブナ、ミスナラと比較して特に塗装上の問題がなく、密着性試験の結果からも早生樹についても通常の木材塗装を行って問題がないことが確認できた。

家具および内装材への利用適正という面では、センダンについては既に家具用材として福岡県の大川地区を中心として利用されており、今回の試験結果からも大きな問題はなく利用可能である。

ユリノキについては、ホオノキに似た色調を示しており、表面硬度がやや低いように感じた。他のプロジェクト分担課題である材質・強度特性等の結果を見なければ判断できないが、ホオノキの代替素材として利用できる可能性が高い。

ユーカリについては、今回用いた供試材料は非常に年輪幅が密であったことから本研究課題である早生樹とは異なるため参考値とする。

コウヨウザンについては、衝撃試験や引っ掻き試験の変形量などから非常に表面が柔らかい。摩耗試験により、ウレタン塗装（溶剤系、水系とも）により性能が向上することが確認できており、素材のままでは芯材などとしてしか利用できないかもしれないが、圧密化やハードコート塗装などにより付加価値を向上させれば家具および内装材として問題なく利用可能であると判断した。

早生樹の評価手法については、今回実施したJISおよびJASの方法において、通常の塗膜の評価方法では樹種間の差があまりなかったが、凹み傷など変形量に着目すると樹種間の差異が現れることがわかった。マイクロメーターやマイクロスコープで深さ測定を実施したが、マイクロスコープによる測定は信頼性がある数値とは言えないとの指摘があり、今後はレーザータイプの三次元形状測定機による計測により評価を実施したい。

謝辞

本研究は、令和元年度国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所交付金プロジェクトの委託研究により実施したものである。研究主査の森林総合研究所木材研究部門杉山真樹様をはじめご助言いただきました研究参加メンバーの皆さまに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 福留重人, 中原亨, 日高富男: 早生樹材を活用した木製品の開発, 鹿児島県工業技術センター平成 30 年度研究報告, 32, pp. 53-60, 2018.
- 2) 大野善隆ほか: ユリノキ材活用に関する調査研究, 大分県産業科学技術センター平成 08 年度研究報告, pp. 88-91, 1997.
- 3) 萩田信二郎ほか: 早生樹種コウヨウザンの可能性について考える, 森林応用研究, 28 (1), pp. 17-19, 2019.
- 4) 涌嶋 智, 渡辺靖崇: コウヨウザンの材質, 森林遺伝育種, 6, pp. 148-154, 2017.
- 5) 日本木材学会・物理・工学編編集委員会: 木材科学実験書 I. 物理・工学編, 有限会社中外産業調査会, p344, 1990.