

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。

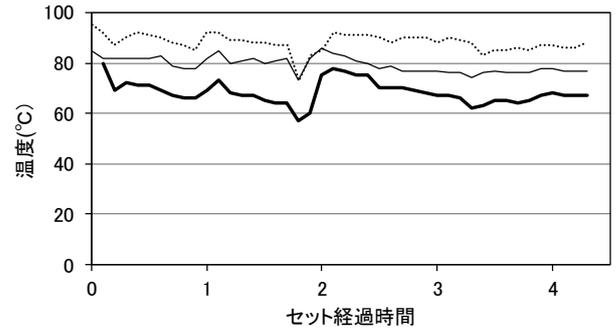


図2 乾燥工場における回収装置（常時）の温度変化

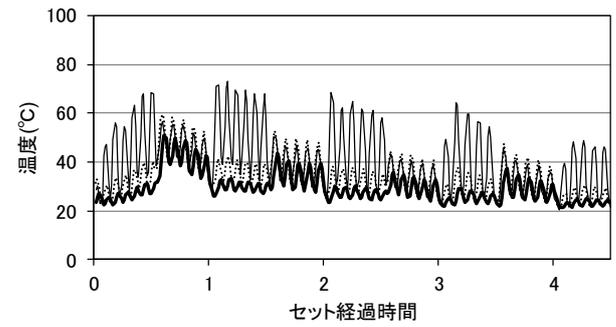


図3 森林研における回収装置の温度変化

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、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

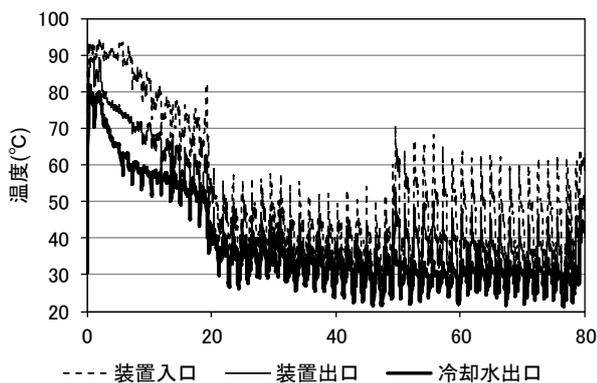


図4 精油分画時の回収装置の温度変化

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)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(㈱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

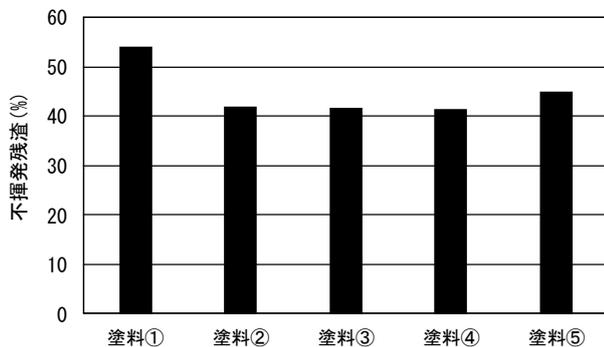


図2 各塗料の加熱残分

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。

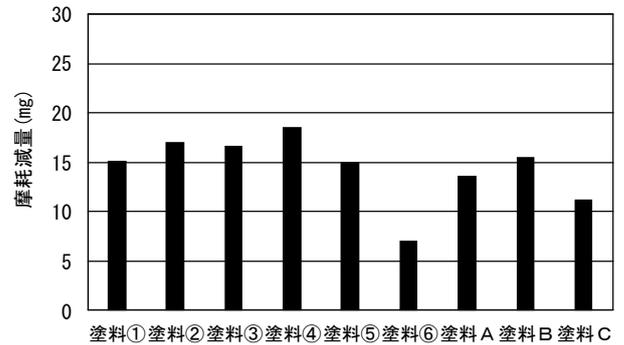


図3 各塗料の耐摩耗性

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。

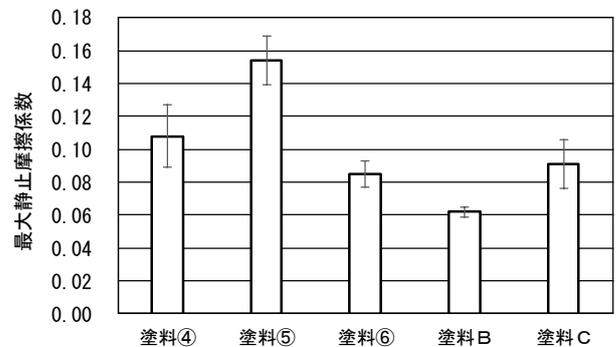


図4 各塗料の滑り抵抗性

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.