

小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第2報）

村田明宏*, 長谷川良一*, 今西祐志*, 沼澤洋子*

Development of technology for the use of small-diameter Hardwoods for furniture and interior materials (II)

MURATA Akihiro*, HASEGAWA Ryoichi*, HIROSHI Imanishi*, NUMAZAWA Youko*

国産広葉樹を家具・内装材などに利用していくため、これまでパルプ・バイオマス発電等のチップ材として取り扱われている小径材に焦点を当て研究を実施した。対象樹種として散孔材であるホオノキとハンノキについて、小径丸太由来の板材を使用し、4通りの構成部材の幅（以下ラミナ幅）で交互に接着し異樹種集成板を製作し乾湿繰り返しによる反り、変形を計測した。また、小径材の割れや変形を防止するため、熱プレス矯正による処理を同様に4通りのラミナ幅で対象4樹種について熱処理して、同様に異樹種接着の接着力や環境に伴う変形量の評価を実施した。その結果、ホオノキ+ハンノキの異樹種接着集成板、熱処理し集成した異樹種集成板についても、接着層の剥離は見られず良好な接着性能を示した。このように異樹種接着においても、異樹種であることに由来する接着性能に問題はなかった。さらに次年度は製品試作をおこなうため、試作のための加工性評価としてセンダンによるカウンター材の木目が異なる集成加工、NCによる加工性評価として、異樹種接着板によるトレーや木製ネクタイの試作加工を実施した。

1. 緒言

昨年度¹⁾に引き続き、国産の早生広葉樹や地域の小径広葉樹など、これまで用材として活用されてこなかった広葉樹材を、有効活用するための加工・利用技術を開発する必要がある。このため国立研究開発法人森林総合研究所を中心として山形県、岐阜県、福岡県、飛騨産業株式会社の研究機関で構成されるコンソーシアムでの共同研究により、未活用広葉樹4樹種（センダン、ハンノキ、ホオノキ、コナラ）を対象樹種として、家具・内装材への利用技術の開発を試みた。当研究所は、中課題2「国産未活用広葉樹材を用いて家具・内装材製品を製造するための利用技術を開発する上で、分担課題である中課題2（3）の「小径広葉樹の利用技術の開発」を実施している。

小径広葉樹材を利用する上での課題として、小径材であるがゆえに、未成熟部分が多く、割れや狂いが発生しやすい。異樹種集成する上での課題は、強度や比重、接着剤の濡れ性が異なるため、接着剥離が発生しやすい。乾湿など温湿度環境に伴う反

り変形、割れが発生しやすいと考えられる。本研究では研究対象とした4樹種（センダン、ハンノキ、ホオノキ、コナラ）、及び飛騨地域の小径広葉樹材について、異樹種複合による家具・内装材への有効利用技術を開発するものである。

今年度は対象樹種のうち残り2樹種のホオノキハンノキについて、昨年度と同様の試験を行うとともに、割れや変形抑制のため熱処理を実施し、接着集成した後に環境に伴う変形抑制効果を確認する。また、その成果を踏まえ、来年度予定されている製品試作に向けて、フィンガージョイントによる加工・接着集成やNC加工による加工性評価を実施した。

2. 実験方法

本研究プロジェクトで対象樹種とした4樹種のうちホオノキとハンノキについて、小径丸太由来の板材を使用し、4通りの構成部材の幅（以下ラミナ幅）100、75、50、25mmで、ホオノキとハンノキを交互に接着し異樹種板を製作した。ラミナ幅の違いによる変化を検証するため、異樹種集成板の乾湿繰り返しを実施し、反り、変形を計測した。ま

* 試験研究部

た、ホオノキとハンノキの接着力について、常態試験と耐水試験を行い木部破断の有無、剥離強度を測定した。

2.1 供試材料

今年度は対象樹種とした4樹種のうち残りのホオノキとハンノキを用いた。試験材は、小丸太径18～26cmのホオノキ（山形県産材）とハンノキ（岐阜県産材）を使用した。両樹種とも柾目挽きにより製材し、人工乾燥材を板材として購入した。

また、飛騨地域材として、飛騨市より切り出された木材を乾燥し、試験材として用いた。

2.2 異樹種接着集成板材の環境に伴う変化の測定

丸太から製材された板材の内、板目板を使用した。それぞれ幅100、75、50、25mmに小割し、長さ900mm、厚さ20mmに調製した。異樹種接着は、上述の板材のホオノキとハンノキを交互に接着し、異樹種集成板を5枚作製した。水性高分子イソシアネート型接着剤【PIボンド TP-111・H-3 オーシカ製】を使用し、高周波接着機〔高周波コンパクト接着機：山本ビニター製001型〕で加熱接着した後圧縮し、翌朝ハタガネから外し1週間の養生後、環境試験を実施した。

乾湿繰り返し環境試験は、5枚の異樹種接着板に対して乾湿繰り返しを行い、反り、割れ、寸法安定性を評価した。乾湿繰り返し条件は、40℃、90%RH：48時間→40℃、20%RH：48時間を1サイクルとし2サイクル行った。測定は、1、2サイクル実施後、さらに、40℃、48%RH：48時間後に行った。また、熱矯正材については、対象4樹種の熱処理材について同様の変化を計測した。

2.3 接着層のせん断強度試験

ホオノキとハンノキの接着層の試験は、異樹種接着板から試験体から切り出し、JIS K 6852に従い圧縮せん断接着強さ試験を実施した。試験は常態と耐温水性試験（60℃温水中にて3時間浸漬）で評価した。

2.4 地域未活用小径広葉樹材の利用

地域材の利用では対象樹種以外にも異樹種接着により地域材利用をすることとし、飛騨地域で産出される小径広葉樹種から家具等に使用できる樹種を選定するため、8種6組の異種材接着による接着力評価を行った。小径広葉樹材は、木くず炊き温水ボイラーを熱源とした低温乾燥システム（初期乾球温度48℃）により、人工乾燥を実施し、目標含水率8%の乾燥原材を調製した。

2.5 接着力の耐久性試験

接着強度の長期安定性を確認するため、乾湿繰り返し試験「40℃90%RH（2週間：336時間）+40℃20%RH（2週間：336時間）」を1サイクルとし、合計

で3サイクル行い、各サイクル終了後、同様の接着性能試験（剪断試験）を行った。

2.6 熱矯正による変形抑制試験

小径材であるため割れや変形防止のため、熱矯正技術を試みた。対象4樹種について、前述の接着性能試験と同様にラミナ幅4種（100,75,50,25 mm）を作製し、蒸煮2条件（30分、60分）、固定時間2条件（130℃：30分、60分）、圧縮条件：22.5 mm厚→22 mmにプレスし、冷却30分で行った。これらを異樹種接着集成し同様の反り変形性能試験を実施した。

2.7 異樹種接着集成板の加工性評価試験

接着強度に問題がないことが確認できたため、令和6年度の試作に向け前倒しで異樹種接着集成による製品試作に向けた加工性評価を行った。一つは、岐阜県内で建材や内装材を製造しているメーカー（セブン工業株式会社）に委託し、対象樹種のうち、コナラ、センダンを用い通常のカウンター材と同様に約30 mm角、長さ300～400 mmの乱尺に加工し、フィンガージョイント加工と幅はぎによる異樹種接着集成板を作製した。材料構成として両端は硬いコナラ材、中央部は柔らかい材質のセンダン材を使用し、木目についてはコナラ部分も含め、板目のみ、柾目のみ、板目と柾目を交互に集成の3種作製した。この試作カウンターテーブルについては、東京ビッグサイトで開催されたWOODウッドコレクション2024に出展し、小課題2(1)の森林総合研究所研究担当者らとともに、研究の広報を行うとともに木目の違いの評価をアンケート集計形式にて市場調査を行った。

さらに、小木製品として地域材も利用する形で、異樹種接着集成板によるトレーや木製ネクタイについてNCルータ加工による試作品を作製し加工性を評価した。これらも同様にWOODコレクション2024に出展し来場者の意見を伺った。

3. 結果と考察

3.1 異樹種集成板材の反り、変形

図1に示すように、コナラとセンダンの異樹種接着集成板については、大きな反りや変形が少なかった。また、4パターンによる変化測定では、ラミナ幅と変形の大小の関係については、幅25 mmでは変化が少ないものの50 mmでは変形が大きいものがあり明確な傾向を把握できなかった。一方外観観察では、接着層の剥離は見られなかったが、コナラ材部位で木口割れが発生しているものがあった。

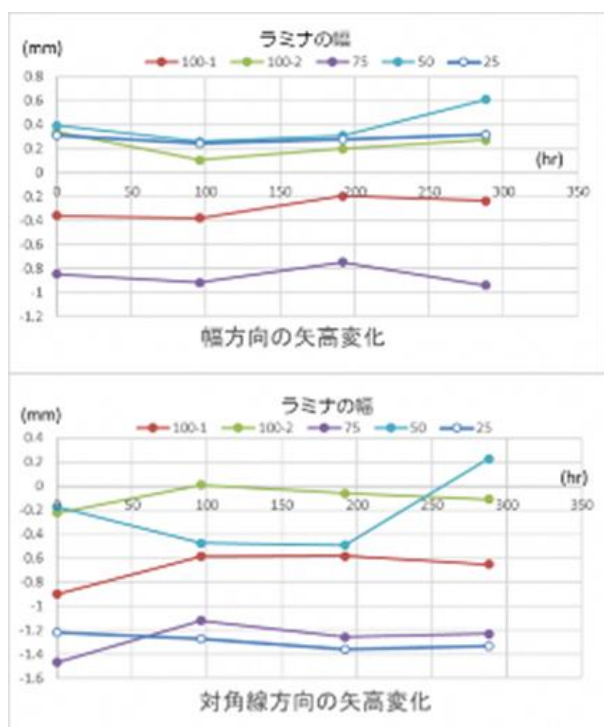


図1 異樹種集成板（コナラ+センダン）の反り評価

また、図2に示すように、ホオノキとハンノキの異樹種接着集成板についても、大きな反りや変形が少なかった。同様に、4パターンによる変化測定では、ラミナ幅が狭いほど変形量などの変形が少なくなったが、幅を変化させたことによる明確な傾向は把握できなかった

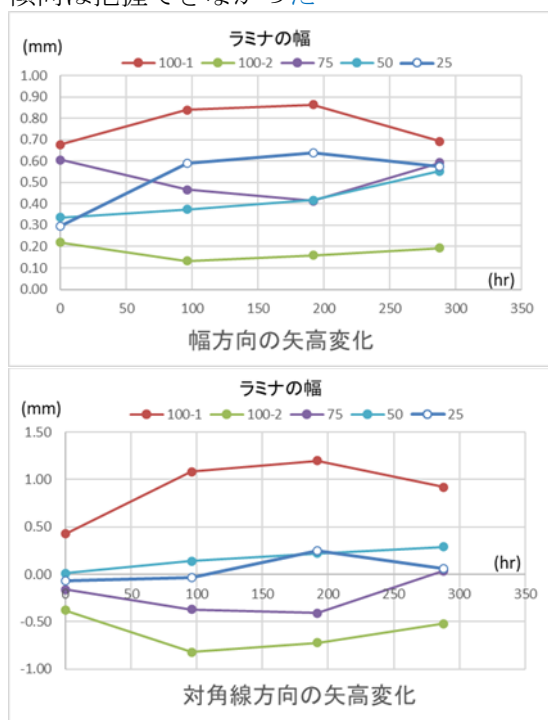


図2 異樹種集成板（ホオノキ+ハンノキ）の反り評価

接着性能評価については表1に示すとおり環孔材であるコナラ、センダンの同樹種・異樹種接着性能試験を実施し、通常材と比較したところ小径材であることによる大きな問題はなかった。

表1 通常材・小径材の接着性能

樹種	構成	径級	接着強さ [N/mm ²]	木部破断率 [%]
ナラ×センダン	異樹種	通常材	11.9	100%
センダン×センダン	同樹種		10.8	100%
ナラ×ナラ	同樹種		18.7	100%
コナラ×センダン	異樹種	小径材	11.5	91%
センダン×センダン	同樹種		9.9	92%
コナラ×コナラ	同樹種		16.5	93%

常態試験 [20℃, 50%RH]

表2 異樹種接着の接着性能

樹種		接着強さ (N/mm ²)	木部 破断率	異樹種接着 木部破断面樹種
コナラ	センダン	11.49	90%	センダン
クリ	ケヤキ	11.94	85%	クリ
クリ	セン	12.90	80%	6:4 でセン
クリ	クルミ	11.07	85%	クリ
サクラ	ウダイカンバ	15.55	70%	6:4 でサクラ
ミズメ	ウダイカンバ	17.03	75%	6:4 でウダイカンバ
トチ	ウダイカンバ	11.69	80%	トチ

環孔材であるコナラ、センダン、散孔材であるホオノキとハンノキの対象4樹種については、異樹種接着集成による反り変形は大きくなく、異樹種接着の接着性能も問題がないことから、材割れなど事前の材料の選別が必要であるが、家具・内装材の原料として利用可能である。また、コナラ、センダンについては通常材と比較し小径材でも問題なく利用可能であることを確認した^{1, 2)}。

飛騨地区の小径広葉樹材の利用について、協力機関である飛騨市広葉樹活用コンソーシアム傘下の団体への聞き取り調査より26種の広葉樹が搬出されていることがわかった。そこで今回は、コナラ、センダンに加え、材入手の観点から、表2に示すとおり8樹種6組の接着性能試験を実施したところ、接着力に問題はなかった。また、これらの材料を入手するにあたり、小径広葉樹等の人工乾燥試験を実施した。乾燥日数は、最短で20日間、最長で48日間であった。一部に木口割れなどの問題が発生する場合や、ブナ材とクリ材において高い含水率を示すものもあったが、平均の仕上げ含水率は目標とした含水率8±2%と良好に乾燥することができた。

3.2 接着力の耐久性試験

前年度の湿度変化に伴う促進試験では、48時間毎に湿度を変化させたが、20 mm厚さがある板材だと1週間（168時間）程度の時間をかけないと内部まで含水率が一定にならないことが危惧された。このため、令和5年度は、温湿度条件は同じとし、環境条件を1週間単位で変化させた長期乾湿環境による促進試験を実施し、接着性能の耐久性を評価した。その結果の一部を図3に示す。図のとおり、バラツキはあるものの初期と比較し接着強度や木部破断率に問題はなかった。

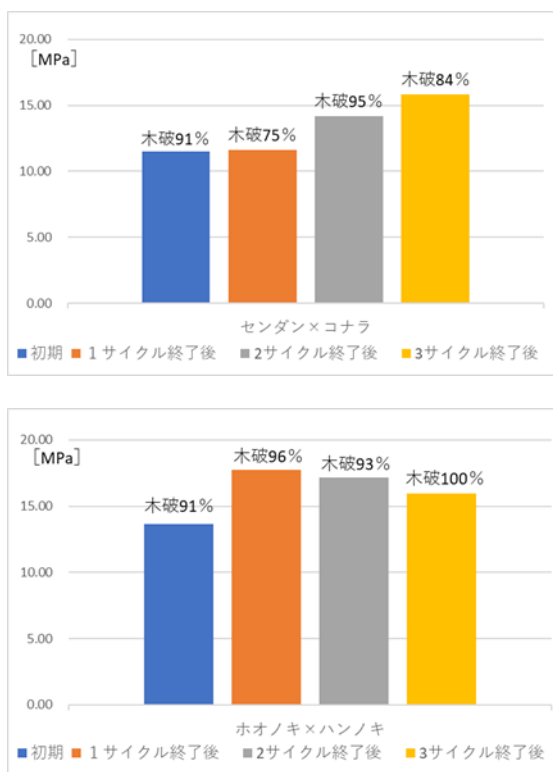


図3 異樹種接着における接着性能の耐久性（4樹種、対象材）

3.3 小径広葉樹の熱処理による変形抑制乾燥試験

熱矯正による変形抑制として板材の熱プレス矯正の状況について図4に示すとおりである。処理材については前述と同様の4パターンによる異樹種接着集成板を作成し変形評価試験を実施した。



図4 熱プレス矯正処理

図5に熱処理後異樹種接着集成した試験板を図6に環境変化に伴う各ラミナ幅の反り(矢高)の変化を示す。蒸煮2条件（30分、60分）、固定時間2条件（130℃：30分、60分）による変形量低減化については、蒸煮条件を長くすることにより安定化した部材もあれば、かえって大きくなる部材もあり、同様に固定時間を長くすることにより安定化するものもあればそうでないものもあり明確な傾向を把握することができなかった。しかし、ラミナ幅についてみると「コナラ+センダン」「ホオノキ+ハンノキ」の異樹種接着集成板ともに50mm幅の板を集成したものが環境に伴う反りがおよそ±1.0mm以下となっており、試作についてはラミナ幅50mmで修正したものを使用することとしたい。



図5 熱処理後異樹種接着集成した試験板
（上：コナラ+センダン、下：ホオノキ+ハンノキ）

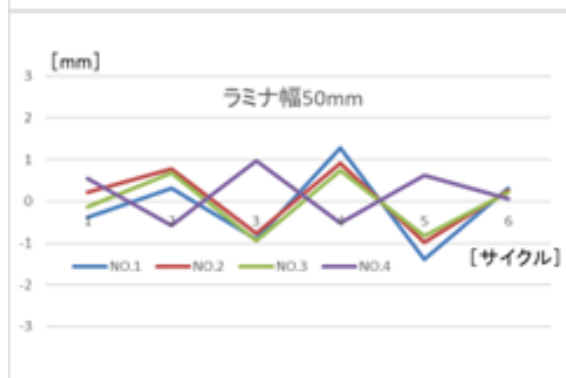
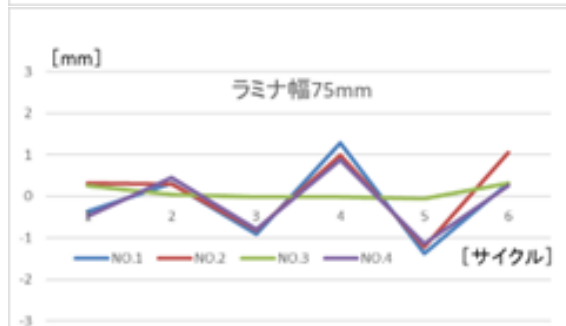
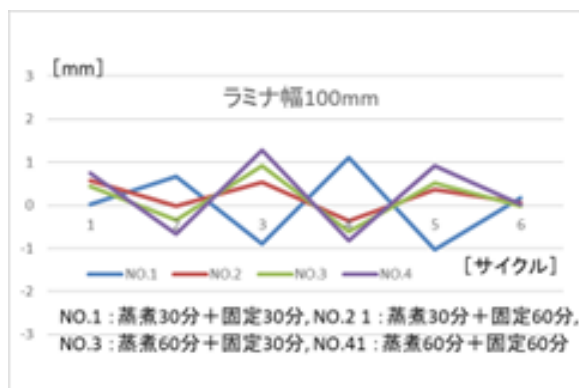


図6 環境に伴う矢高の変化（対角線）
（ホオノキ+ハンノキの例）

3.4 小径広葉樹センダン等によるカウンター試作

前倒しで実施した加工性評価を兼ねた製品試作について試作したカウンターを図7に、構成材の違いによる表面の木目模様の違いを図8に示す。加工委託企業への聞き取りでは、通常のカウンター製

品（ゴム、タモ、アカシア、ヒノキ、パイン、スギ、ナラ、ウォルナット、カバ、メープル）と比較し、フィンガージョイント部や幅はぎ接着など加工性に問題はないとのことであった。ただし、板目のみの場合など天板の表情が異様とを感じる消費者もあり、木目の好き嫌いにより場合によっては返品交換などの対応（現状でもあるとのこと）が必要ではないかとの意見があった。



図7 試作したカウンター



図8 構成材の違いによる表面木目

試作カウンターについては、WOOD コレクション 2024（以下、モクコレ）[令和6年1月11～12日：東京ビックサイト]において、森林研究・整備機構のブースにセンダンカウンターテーブルを配置し、来場者に対して木目の嗜好アンケート調査を実施した。アンケートは聞き取り調査とし、森林総合研究所の中課題2（1）グレーディングチームと共同で行った。内容はセンダン集成材の板目のみ、柾目のみ、板目と柾目を交互に集成の3種について、男女別・年齢別・職業別とした。

		職業							合計
		住関連産業	農林業	サービス業	小売・流通	行政	学・研究機関	その他	
好みの天板板目	人数	4	1	0	1	3	3	6	18
	職業の%	11.1%	20.0%	0.0%	11.1%	18.8%	13.0%	17.1%	14.4%
MIX	人数	11	2	1	2	5	3	11	35
	職業の%	30.6%	40.0%	100.0%	22.2%	31.3%	13.0%	31.4%	28.0%
柾目	人数	21	2	0	6	8	17	18	72
	職業の%	58.3%	40.0%	0.0%	66.7%	50.0%	73.9%	51.4%	57.6%
合計	人数	36	5	1	9	16	23	35	125
	職業の%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

図9 アンケート結果1 職業別

		性別		合計
		男性	女性	
好みの天板 板目	度数	12	6	18
	性別の%	12.2%	22.2%	14.4%
MIX	度数	26	9	35
	性別の%	26.5%	33.3%	28.0%
柾目	度数	60	12	72
	性別の%	61.2%	44.4%	57.6%
合計	度数	98	27	125
	性別の%	100.0%	100.0%	100.0%

図10 アンケート結果2 男女別

125名の方から回答をいただき、男女別では男性の方が柾目を、女性は半数以上が板目を含むものを好んだ。年齢別では平均値と比べて50代の方が柾目を、20代が板目を、30代と70代以上が板目をを含むを好む傾向にある。職業別では木材と関係のある農林業の方の60%が板目を含むものを、流通・小売業の方と研究者が柾目を好んで選択した。嗜好した。全体では、柾目58%、混合28%、板目14%という結果となった(図9, 10)。

3.5 小径広葉樹等によるトレー・ネクタイの試作

次年度の試作に向けてNC加工による加工性評価として、面取り加工で「トレー」を、溝堀・穴あけで「木製ネクタイ」を試作した。図11に加工評価したトレーを示す。材料は対象4樹種を25mm幅で幅はぎ集成した「コナラ+センダン」、「ホオノキ+ハンノキ」と、地域材である「ヤマザクラ+トチノキ」、「ケヤキ+クリ」として、加工中に欠けや先割れが発生しやすいように、四方向が木口となるように45°傾斜の集成板として、おもて面は深さ4.5mm、裏面は深さ3.0mmNC面取り加工を施した。塗装は、オイル調ウレタン樹脂塗装とし、仕上がり寸法約W400mm×D300mm×T15mmとした。加工メーカーへの聞き取りでは、大径材の3枚はぎのトレー加工と比較し、NCによる加工性に大きな問題はなかった。異樹種接着集成材トレーの塗装ではウレタン塗料の吸込みが樹種により異なり仕上りの艶をそろえるのに苦労した(図12)。



図11 試作したトレー



図12 トレーのおもて面と裏面

図13に、加工評価した木製ネクタイを示す。材料は、「ホオノキの辺材+心材」「オニグルミ+トチノキ」「ハンノキ+ホオノキ+センダン」としこの順に加工し、小径同樹種接着集成、小径異樹種接着集成、最後に対象樹種のうちの3樹種を接着集成加工した。木製ネクタイ(商品名:ノクタイ)とするため、裏面には軽量化を理由に深さ4.8mmの溝堀加工をするるとともに、連結用の穴径φ3.0mmや、紐固定のための仕掛け穴径φ11mmの加工を施し、紐などで連結し木製ネクタイとした(図14)。仕上がり寸法:L419mm×W78mm×T15mmである。メーカーへの聞き取りでは、大径材の無垢材木製ネクタイのNC加工と比較し、同樹種集成、異樹種複合、多樹種複合集成材についてNCによる加工性に大きな問題はなく通常と同様に加工できたとの評価を得た。モクコレでの展示では、今すぐに欲しいという方や、制作メーカーを教えてほしいという声をいただいた。



図13 試作した木製ネクタイ



図14 裏面の溝彫・穴彫加工

4. まとめ

1) 対象樹種の残り2樹種（ハンノキ、ホオノキ）を4段階のラミナ幅で異樹種接着集成板を作製し、反り、変形を評価するとともに、接着性能を評価した。その結果、反り変形は小さく家具・内装材として利用可能であることを確認した。また、接着強度も十分有していることから、対象4樹種ともに異樹種接着集成して利用が可能であることを確認した。

2) 熱矯正による変形抑制技術として、対象樹種4樹種の熱矯正処理実施し、異樹種接着集成板を作製し同様の評価試験を実施した。処理条件による違いは明確ではなかったが、反り変形が小さいことから家具・内装材への利用が可能であることを確認した。

3) 昨年問題点が残った接着の長期安定性（内部まで含水率が変化する）について、対象4樹種2組に加え地域材8樹種6組に対し、2週間単位の乾湿繰り返し試験を3サイクル（約3か月間）行い異樹種の接着性能に問題がないことを確認した。

4) 次年度より実施予定であった試作について、加工性評価を兼ねた試作を岐阜県内企業に委託しフィンガージョイント加工による幅はぎ集成カウンターとNCルータ加工によるトレイ・木製ネクタイなど小木製品の試作を実施した。これらの加工においても企業からの聞き取りで問題がないことを確認した。

これまでの研究で、小径広葉樹の利用にあたっては、製材後の乾燥で割れや変形が大きいものがあり、これらの中から良材を選別して利用するようになっている。今回の研究では、乾燥時に割れや変形がなかった材については問題なく利用できてお

り、材料選別に留意して研究を進める必要があることがわかった。

以上のとおり、これまでチップ材として搬出されていた小径広葉樹材については、異樹種接着利用で接着強度、反り変形などで大きな問題はなく家具・内装材として利用できることがわかった。次年度は表面硬度の均質化のためPET樹脂ラミネートによる性能向上を実施するとともに、対象樹種及び地域材による家具・内装材の試作を実施する予定である。

謝辞

本研究は、令和5年度生物系特定産業技術研究支援センターイノベーション創出強化研究推進事業（JPJ007097）応用研究ステージ【課題番号04012B2】「早生樹等の国産未活用広葉樹材を家具・内装材として利用拡大するための技術開発」の委託研究により実施したものです。地域材確保については協力機関である飛騨市広葉樹活用コンソーシアム様、加工性評価のための製品試作についてはセブン工業株式会社様、TS産業様のご協力により実施したことを感謝いたします。また、研究代表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参加メンバーの皆さまに深く感謝いたします。

参考資料

- 1) 村田明宏他：小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第1報），岐阜県生活技術研究所研究報告，25，pp.44-48，2023
- 2) 長谷川良一他：日本木材加工技術協会第41回年次大会要旨，2023.1

