

ISSN 1344-896X

令和4年度

# 岐阜県生活技術研究所研究報告

REPORTS OF THE GIFU PREFECTURAL  
RESEARCH INSTITUTE FOR HUMAN LIFE TECHNOLOGY

No.25

2023

岐阜県生活技術研究所



## 岐阜県生活技術研究所研究報告 目次

### 試験研究部 研究報告

|                                                                                |              |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用（第4報）<br>3Dスキャン技術を用いた木製品のVR展示<br>山口穂高・藤巻吾朗         | ・ ・ ・ ・ ・ 1  |
| 伝統技法とCNC加工による新たな家具製造手法の確立（第2報）<br>伝統的な木組みを取り入れた木製椅子の設計<br>成瀬哲哉                 | ・ ・ ・ ・ ・ 5  |
| 製品提案プロセスのデジタル化を目指したクッションの触感の可視化（第1報）<br>クッション製品の三次元変形の可視化<br>藤巻吾朗・山口穂高・関範雄     | ・ ・ ・ ・ ・ 10 |
| 製品提案プロセスのデジタル化を目指したクッションの触感の可視化（第2報）<br>クッションの変形速度が触感推定に与える影響<br>藤巻吾朗・山口穂高・関範雄 | ・ ・ ・ ・ ・ 14 |
| 木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第3報）<br>ヒノキ芳香蒸留水抽出物のかび抵抗性試験<br>伊藤国億                       | ・ ・ ・ ・ ・ 19 |
| 繰り返し衝撃に対する椅子の接合強度向上の研究（第1報）<br>構造解析を用いた接合部と隅木の関係性の考察<br>森茂智彦・柴田良一              | ・ ・ ・ ・ ・ 23 |
| 超撥水処理による木材の耐水性向上（第3報）<br>深さ方向分析<br>三井勝也                                        | ・ ・ ・ ・ ・ 26 |
| 幅はぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第3報）<br>幅はぎ板の構成の特徴と反り変形との関係<br>今西祐志                     | ・ ・ ・ ・ ・ 29 |
| 地域材利用に向けた曲げ木工程条件の提示（第1報）<br>圧縮しわの低減について<br>石原智佳                                | ・ ・ ・ ・ ・ 34 |

|                                                                              |              |
|------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 表面模様からの木材硬さ推定に関する研究（第1報）<br>可視光および赤外線観察画像の解析による木材硬さの推定<br>関範雄・藤巻吾朗・山口穂高・三井勝也 | ・ ・ ・ ・ ・ 39 |
| 小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第1報）<br>村田明宏・長谷川良一・今西祐志・沼澤洋子                                | ・ ・ ・ ・ ・ 44 |

# 木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用 (第4報) 3Dスキャン技術を用いた木製品のVR展示

山口穂高\*, 藤巻吾朗\*

## Development of Communication Method Presenting Wooden Visual Textures and Application for Furniture (IV) VR Exhibition of Wooden Products Using 3D Scanning Technology

YAMAGUCHI Hodaka\*, FUJIMAKI Goroh\*

近年は家具製品のオンライン販売が盛んになっており、製品の質感を適切に伝達する手法の開発が望まれている。本研究ではこれまでに、製品の形状を分かりやすく伝える手段として、木製品の3Dスキャンとリバースエンジニアリングから3DCGを得る工程を検討してきた。本報告では、3Dスキャンを起点としてモデリングされた木製品のVR展示を実施し、その印象評価を行った。得られた結果より、作成されたモデルの形状と木目模様は十分な品質を有し、VR展示空間を描画したCGの画質も良好であると考えられた。また、実際にVR展示を行う上では直感的な操作方法を提供する必要がある等の実務上の注意点が考察された。

### 1. 緒言

製品の公式サイトや販売サイトでは製品の外観的特徴を伝達するために画像情報が用いられる。加えて近年では、購買体験をより豊かにするために、3Dモデルをバーチャルで閲覧できるVR展示やメタバース内での接客などが広がりつつある。

一方で、特に木製家具のような、形状が複雑であり、かつ、自然由来の素材を多く含む製品は3Dモデルの作成が容易ではなく、VR関連技術を活用することが難しい。そこで本研究ではこれまでに、3Dスキャン技術とリバースエンジニアリング技術を活用して、木製品の実物から3Dモデルを得る工程を検討してきた<sup>1, 2)</sup>。

本報告では、3Dスキャンを起点として得られた3Dモデルを用いてより実務的なVR展示空間を作成し、配置された製品や空間に対する印象評価を実施した。目的は、3Dスキャナを活用して作成した製品のVR展示が一般消費者に対してどの程度実用的であるか、また、VR展示の実務上の注意点は何かを確認することである。

### 2. 方法

#### 2.1 3Dモデルの作成

岐阜県飛騨地域の家具メーカー12社の各1製品を3Dスキャナ (Artec EVA) で測定し、テクスチャ付きのメッシュモデル (OBJ形式) を取得した。得られたモデルは、3Dスキャンを行った特性上、形状の欠損や歪みが含まれるものもあったため、必要に応じてリバースエンジニアリングソフト (Geomagic DesignX) で修正を加えた。その後、3DCGソフト (Keyshot) でテクスチャの調整を行い、最終的な3Dモデル (FBX形式) を出力した。得られた3Dモデルを図1に示す。

#### 2.2 VR空間の作成

VR空間の作成にはインテリアデザイン用の3DCAD (Coohom) を用いた。VR空間のレイアウトは、実際の展示会 (2022飛騨の家具フェスティバル) の企画展を参考にし、W16m×D11m×H6mの仮想空間に木製品の12モデルと各種展示備品を配置した。なお、CGによるVR展示空間であることを暗示するため、一部の椅子を空中に配置した。また、仮想光源を現地展示会場の雰囲気参考にしながら配置した。続いて、上記空間内の23地点において360度パ

\* 試験研究部

ノラマ画像（8K:8000×4000px）をレンダリングした。最後に、得られたパノラマ画像間をシームレスに連結したウォークスルーページを出力し、ウェブ上に公開した。このページにおいて観察者は、視点（23か所）の移動、観察方位および倍率の変更、製品詳細情報の確認が可能である。作成したVR展示ページの画面キャプチャを図2に示す。



図1 3Dスキャンより作成した展示品の3Dモデル



図2 VR展示ページの画面キャプチャ

## 2.3 VR展示の印象の調査

WEB調査会社を介して、VR展示ページの体験を評価するウェブアンケートを実施した。

回答者には、VR展示ページを開いて1分以上体験したのちに質問に回答するように教示した。調査項目は、展示品の数、VR展示の画質、VR展示の操作性、没入感、満足感、展示品の形状の違和感、展示品の木目模様の違和感、会場の雰囲気の違和感であり、それぞれ5段階の選択式で回答させた。加えて、VR展示の体験について良いと思った点と悪いと思った点について、それぞれ自由記述を求めた。また、年齢や居住地などの属性情報も併せて取得した。この際、木製品に対する専門性を確認した。

調査は2022年12月5日に実施し、20代から60代の307名（男性155名、女性152名）より回答を得た。

## 2.4 解析方法

まず、解析に適さないデータのスクリーニングを行い、267名（男性132名、女性135名）分のデータを解析対象とした。続いて、選択形式の質問について単純集計を行い、各選択肢の度数に基づいてVR展示の印象を考察した。最後に、良い点と悪い点の自由記述についてテキストマイニングを行った。自由記述の解析についての詳細は後述する。

## 3. 結果と考察

### 3.1 回答者の属性

10歳刻みで収集した年齢の最頻値は50-59歳であり、階級値より求めた平均年齢は53.5歳であった。居住地は、東京都（44：以下、カッコ内の数字は度数を示す）、神奈川県（29）、埼玉県（22）、千葉県（22）と都市圏が多かった。また、木材・家具・建築のいずれかを自身の職や学びの専門としたことがあると回答した回答者は267名中22名と少なかった。よって本調査の回答者の層は、都市圏の中高年の一般消費者に近いと想定できる。

### 3.2 ウェブアンケートの単純集計結果

各質問の単純集計結果を図3に示す。

展示品の数は「どちらでもない」の回答数（150）が多く、多くの人が判断に迷った項目であったと考えられる。これは、今回はVR展示空間を自由に観察するように教示したのみで、展示の意図等を想定させなかったためであると考えられる。

画質については、約92%（246）が「どちらでもない」から「良い」までの評価をしており、8Kで作成されたパノラマCGの画質は十分であったと言える。

各種違和感の結果については、いずれも「ない」側の評価数が多かった。今回のアンケートでは現実の写真等の比較対象を呈示していないので、今回のVR展示で呈示した製品の形状、木目模様、会場レイアウトは、回答者がそれぞれイメージした基準に対して違和感なく観察されたと解釈できる。特に、木目模様の違和感は約87%（233）が「どちらともいえない」から「違和感がない」までの評価であり、3Dスキャンによって得られた木目模様の表現は、一般消費者がイメージする木目模様に対して十分であったと言える。

操作性、没入感、満足感についてはいずれの度数分布も中央凸型を示し、これらの項目の良し悪しは回答者によって評価が分かれたことが示唆される。そこで次章において、これら3項目の質的側面を詳細に解析した。

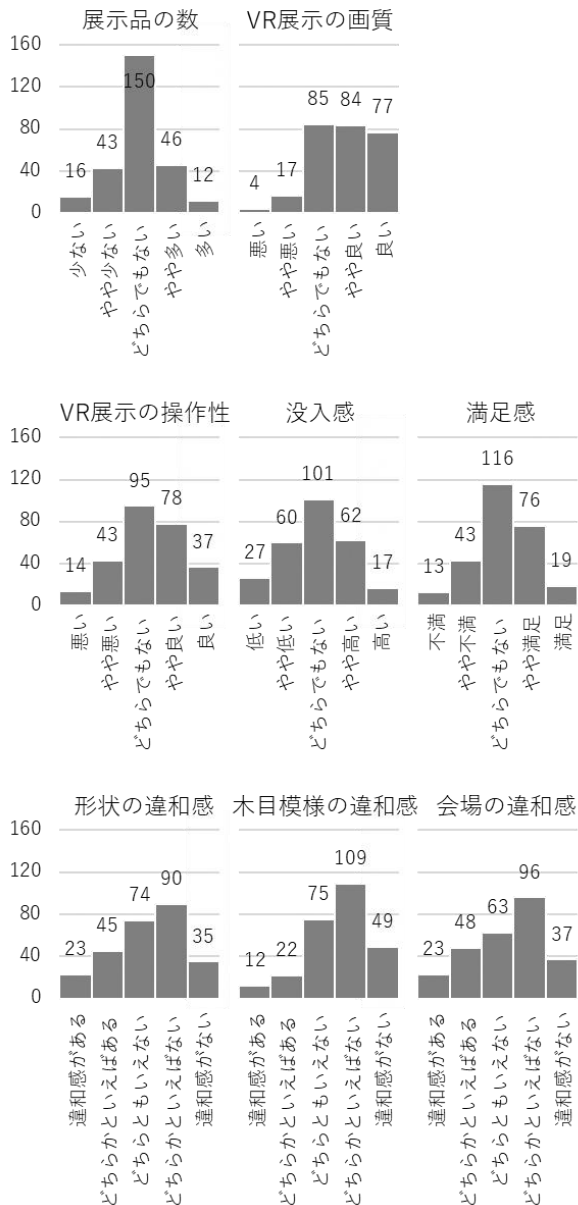


図3 ウェブアンケートの単純集計の結果

### 3.3 自由記述のテキストマイニング

本調査で得られた自由記述は良い点60件、悪い点65件であり、これらをKH Coder<sup>3)</sup>によって分析した。ここでは操作性、没入感、満足感の3項目と自由記述の記載内容との対応関係を調査することが目的であった。したがって、自由記述の頻出語、良い点/悪い点のラベルおよび評価値の3項目の対応分析を操作性、没入感、満足感のそれぞれ行った。なお、KH Coderでは、文章が語単位に分割され、活用のある語は基本形に変換されて抽出されるという処理が解析者の判断を介さずに自動で実行される。ただし今回の解析においては、どの記述にも表

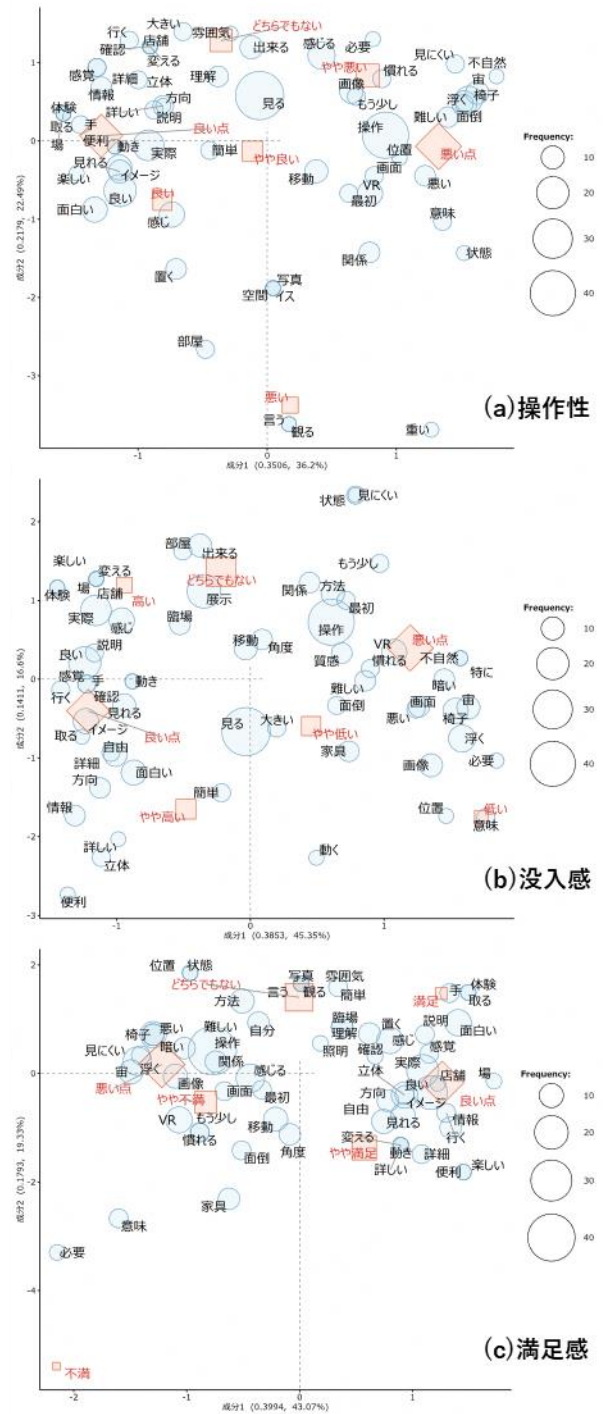


図4 自由記述の頻出語の対応分析の結果

れうる語「思う」のみを除外して対応分析を行った。

操作性、没入感、満足感それぞれについて先述の対応分析を行い、得られた上位2成分で抽出語と各評価を散布図に付置した(図4)。図4において、一緒に記述された語同士は近くに付置され、また、原点からの距離が遠いほど特異的な語であったことを示す。また、「操作性が悪い」等の各評価と語の関係は、原点から見た方向が近いもの同士で対応

関係が強いことを示す。

操作性の評価順位はおおよそ馬蹄形で現れており、「悪い」には「重い」、「やや悪い」には「慣れる」「必要」といった語が特徴的だと解釈できる。したがって、読み込み待ちや操作習熟といった「観覧以外の余計な時間」が操作性を悪く評価させたと考えられる。一方で、操作性の「良い」評価の方向には操作性に関する用語および記述は特に見られない。このことより、操作性が良いと評価した人には、操作性は記述するほど意識されていない、すなわち直感的であった、ことが示唆される。

没入感と満足感は、成分1(横軸)の正負が反転しているもの、成分1に沿って評価順位が並ぶという点が類似している。両項目の成分1のポジティブ側には、「自由」「情報」「実際」「行く」などのVR展示の特徴が「良い点」ラベルと共に付置した。実際の記述としては、「自由に操作して関心のあるものの近くに行ったり拡大したり情報を参照したりできるので良い」「実際にその場にいかなくても良いので楽で良い」などがあった。満足感の「不満」の方向には「必要」「意味」が特徴的に付置し、「VRである必要を全く感じなかった」と記述されたように、VR展示そのものの必要性が理解できなかった人が満足感に低評価を付けたことが示唆される。また、「浮く」は「椅子が宙に浮いていて不自然」というような記述で用いられ、現実的ではない展示方法が没入感や満足感の評価を下げる要因になった人がいたことが示唆される。

#### 4. まとめ

3Dスキャナを用いて木製家具12製品をテキスト付きの3Dモデルにし、それらを展示した空間を撮影したパノラマ画像のウォークスルーページをウェブ上に公開した。このウェブページを体験した267名に対して、その体験についての印象をウェブアンケート形式で調査した。

その結果、本調査に参加した回答者は都市圏の中高年の一般消費者に近いと考えられた。VR展示の画質は良いと評価され、今回出力した8Kのパノラマ画像は十分な画素数を有していたと考えられた。展示品の形状、木目模様、会場の雰囲気の違いはいずれも「ない」側の評価が多く、今回のVR展示は、回答者それぞれの評価基準に対して特に違和感を生じさせなかったと考えられた。操作性、没入感、満足感の評価は人によって評価が分かれ、操

作性は不要な時間、没入感と満足感はVR展示の必要性や非現実的な展示レイアウトによって評価が下がると考えられた。一方で、没入感や満足感の高い人には、VR展示特有の特徴が理解されていたと考えられた。

以上より考察されるVR展示の実務上の注意点は以下の通りである。

1. 今回公開した3Dスキャンによるモデルを元にした木製品のVR展示は一般消費者の観覧を想定した際に実用レベルであったと言え、3Dモデルが無い木製品をVR展示するためには3Dスキャナの利用も実用的である。
2. VR技術によって実現可能な新たな体験は、今回のVR展示の観覧でも一部の回答者に想起されており、製品プロモーションの付加価値として積極的に利用すべきである。
3. VR展示の目的を明確にすること、目的に則した展示レイアウトにすること、時間のかからない直感的な操作にすることがVR展示の評価のネガティブ要因であると考えられ、これらに配慮することが必要である。

#### 謝辞

製品の3DスキャンとVR展示の実施にあたり、2022飛騨の家具フェスティバルおよび展示品を提供いただいた12社から了承をいただきました。VR展示のレイアウトは、(株)飛騨の森でクマは踊る、SYA+Kamikamiからご提供いただいた現地展の原案を元にしてしています。また、VR空間の作成に当たり、(株)e-squisseより支援をいただきました。ここに皆様への感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 山口穂高, 藤巻吾朗: 木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用(第2報), 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 24, 2022.
- 2) 山口穂高, 藤巻吾朗: 木材の質感を伝達する製品提案手法の開発と家具製品への応用(第3報), 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 24, 2022.
- 3) 樋口耕一: テキスト型データの計量的分析, 理論と方法, 19(1), pp. 101-115, 2004.



# 伝統技法とCNC加工による新たな家具製造手法の確立（第2報） 伝統的な木組みを取り入れた木製椅子の設計

成瀬哲哉\*

## Integration of Traditional and Digital Technologies for Furniture Manufacturing (II) Wooden chair design with traditional Japanese joinery

NARUSE Tetsuya\*

これまでの設計・製造手法では実現が困難であった形状や機能を有する木製家具・椅子を実現するため、伝統技術と最新のデジタル技術を融合した新たな家具設計手法の考案を試みた。

本年度研究では、木製椅子の設計に伝統的な木組みを取り入れるだけでなく、小径木や端材の積極的な利活用を目的に、木組みによる接合や接合部分をあえて見せるといった新たなデザインの検討を行った。また、3Dプリンタを活用し、製品開発における試作工程の効率化を検討したので報告する。

### 1. 緒言

「飛騨・高山の家具®」は、良質な木材、優れたデザイン、熟練者による高い加工技術による高級木製家具として認知されており、平成14年以降、岐阜県は「木製机・テーブル・椅子」の出荷額は1位を堅持している。

しかし、近年は国内他産地の台頭や大手量産メーカーの品質の向上が著しく、市場競争が激しくなっており、市場競争力のある高付加価値製品の開発が求められている。

また、木材の価格の上昇や、環境・持続可能性への配慮、技術の進歩に対する対応など、多くの課題を有しており、これらの課題に対応するため、木製家具産業は自然との調和を保つサステナブルな生産方法の推進や、新しいデジタル技術の導入検討など変革を模索している。

このような木製家具産業の課題を解決すべく、本研究では熟練者の伝統技法とCNC加工のような高度な生産設備が融合した新たな設計・製造手法を考案し、これまでの設計・製造手法では実現が困難であった形状や機能を有する木製椅子を実現することを目標としている。

本研究で取り上げる熟練者の伝統技法のひとつ

として木組みがあげられる。木組みは木材に切り込みを入れ嵌め合わせる手法で、継手、組手、仕口などがある。これらは金具等を用いることなく様々な木材を継ぎ合わせる技法で、構造的な強度を高めるだけでなく、美しさや機能性を追求したものが多く存在する。また、伝統的な木組みに加え、河合接手<sup>1)</sup>のように近代に考案された継手や、新しい木組みの設計をサポートするアプリケーション<sup>2)</sup>など、伝統的な木組みだけでなく新たな木組みも考案されている。

木組みの技術は、木製椅子の設計・製造においても重要な役割を果たしており、金具を使用しない構造や接合部分を目立たせないようなデザイン・仕上げ方法は製造技術の高さを示す売りとなっている。一方で複雑な木組みは工程・コストの観点から、ダボ接ぎ、ホゾ接ぎといったシンプルな木組みが用いられることが多い。

このような従来の製造手法に加え、木製家具業界では環境や持続可能性への配慮から、小径木や端材の積極的な利活用が求められている。しかし、小径木や端材を木組みで接合して木製椅子の材料や部材として利用する場合、接合部分の加工による工程やコストの増加、そして材料表面に接合部分が多く露出するといった従来の製造手法とは異なる課題が生じる。

これらの課題を解決するには、CADソフトウェア

\* 試験研究部

や3Dプリンタなどのデジタル技術を活用し、製品設計や製造工程を最適化することや、木組みや接合部分を意匠として見せるといった、木製椅子の新たなデザインを模索することが必要と考えられる。

本年度研究では、木製椅子の設計に伝統的な木組みを取り入れるだけでなく、小径木や端材の積極的な利活用を考慮し、木組みによる接合や接合部分をあえて見せるといった新たなデザインの検討を行った。また、3Dプリンタを活用し、製品開発における試作工程の効率化を検討した。

## 2. 設計手法

### 2.1 板座面への矢筈矧ぎの応用

木製椅子の座面が木製である場合、座面は一般的に一枚板または平矧ぎ<sup>3)</sup>と呼ばれる木材の端面同士を接着して作られた板材がもちいられ、表面に臀部形状を模した座り心地を良くする加工：座繰り加工が施される(図1)。

平矧ぎに座繰り加工を施した場合は接着面が平面であることから、座面表面には等高線状の縞模様が現れ、意匠となっている(図2、図3)。しかし、平矧ぎは単純な平面の接着であるため接合強度の問題が発生する場合がある。

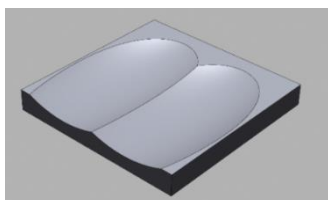


図1 板座への座繰り加工

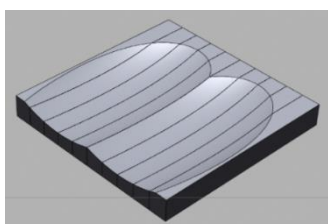


図2 平矧ぎへの座繰り加工(左右接着)

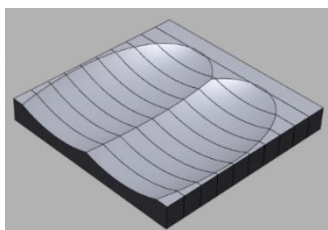


図3 平矧ぎへの座繰り加工(前後接着)

そこで、接合強度を高め、また従来とは異なる座面表面の意匠を実現するため、接合部に矢筈矧ぎ<sup>3)</sup>の使用を検討した。

矢筈矧ぎは、木材の端面をV字型(矢筈)に加工し接着した構造である(図4)。

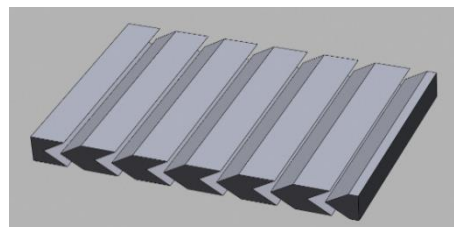


図4 矢筈矧ぎ

### 2.2 伝統的な木組みを取り入れた木製スツール

本格的な木製椅子に伝統的な木組みを取り入れたデザインを行う前段階として、木製スツールの各部に伝統的な木組みを取り入れた設計を試行した。

設計にあたっては今後のCNC加工を考慮し、これまでの設計・製造手法では実現が困難であった構造や意匠を取り入れること、また、小径木や端材を木組みで接合することを前提に接合強度の向上を目指した。

### 2.3 3Dプリンタを活用したデジタル試作

一般的な木製家具の開発工程はメーカーによって異なるが、デザインの最終決定に至るまでには数度の実大試作を行うことが多い。

3DCADやCGを使用して画面上でデザイン確認ができるが、工芸品や意匠性が重要な工業製品においては、現在でも実物大の試作を見て触って確認することが、感性的な観点から重要視されている。

しかし、切断・切削加工が容易な木材であっても、新規デザインの実大試作は既存製品のジグ、工程を活用できないため、試作に時間がかかるという課題をかかえている。

工業製品のデザインや形状確認には、ラピッドプロトタイピング(rapid prototyping)という手法が用いられている。これは製品のCADデータをもとに積層造形法と呼ばれる製造手法により短時間で形状試作を行う技術で、近年は民生用にも普及の進む3Dプリンタが用いられる。

しかし、木製椅子の実大試作には大型の3Dプリンタの導入が必要であるため、コスト面で現実的ではない。一方、建築模型やインテリア模型など、実大サイズより縮小された試作モデルであってもデザイン確認やプレゼンテーション効果があるこ

とが知られている。

安価なホビー向け3Dプリンタでも、木製椅子の1/3～1/8サイズ(高さ15cm程度)であれば出力が可能であることから、縮尺モデルを3Dプリンタ(UV光造形式 ELEG00社 Mars 2 Pro)で出力し、形状・意匠や簡易的な強度確認に用いることを試みた。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 板座面への矢筈矧ぎの応用

複数の木材で構成される木製座面の接合強度を高め、従来とは異なる意匠を実現するため、接合部に矢筈矧ぎ<sup>3)</sup>を使用した座面を設計した。

この矢筈矧ぎの部材に座繰りを施した3DCAD図面を次に示す。矢筈矧ぎを左右接着したものが図5、先端を後方に前後接着したものが図6、先端を前方に前後接着したものが図7となる。

図5～7より、矢筈矧ぎへの座繰り加工は平矧ぎへの座繰り加工(図1、図2)と比較して有機的縞模様が発生し、意匠の変化を見ることが出来る。

矢筈矧ぎだけでなく様々な矧ぎ合わせに座繰り加工を施すことで、接合強度を向上させると同時に、新たな意匠を実現することが出来ると推測することが出来る。

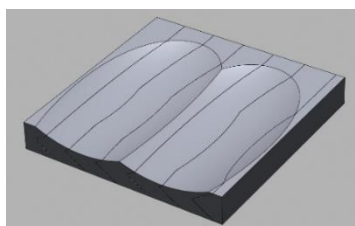


図5 左右接着

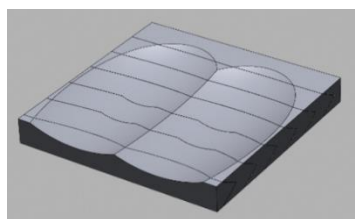


図6 先端を後方に前後接着

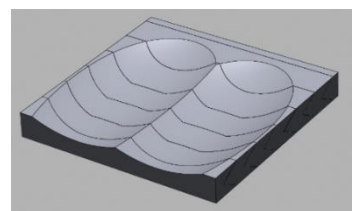


図7 先端を前方に前後接着

#### 3.2 伝統的な木組みを取り入れた木製スツール

木製スツールの各部に伝統的な木組みを取り入れたデザインと接合強度の向上を意図している。

座面の矧ぎ合わせには千切り矧ぎ<sup>3)</sup>を応用し、鼓型の千切りと板材を一体化した構造とした(図8)

座枠には短尺材や端材の利用を念頭に平イスカ継ぎ<sup>3)</sup>を応用し、継ぎ合わせで座枠の部材とした(図9)。

座枠と脚部のホゾ構造は一般的には矩形、円形であるが、千切りのような鼓型とした(図10)。

脚部は小径木や短尺材の利用を念頭に接合部に河合継ぎ<sup>1)</sup>を応用し、継ぎ合わせで脚部の部材とした(図11)。

木製スツールの全体像のCAD図面を図12、各部位の説明図を図13に示す。

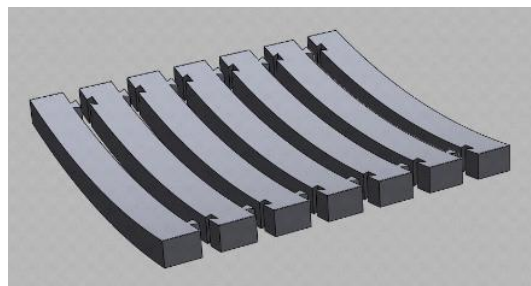


図8 座面の千切り矧ぎを応用

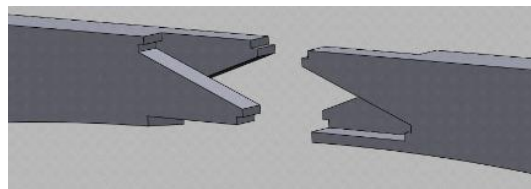


図9 座枠に平イスカ継ぎの意匠を付加

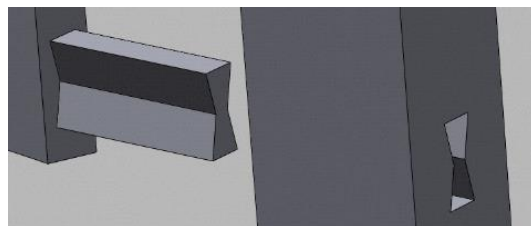


図10 座枠と脚部にホゾ構造に鼓型の意匠を付加

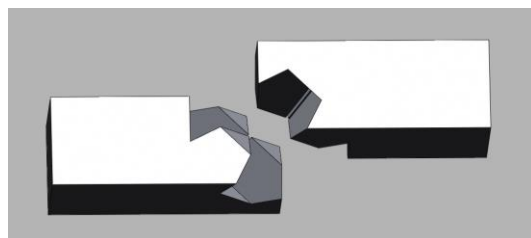


図11 脚部の接合部に河合継ぎを応用



図12 木製スツール



図13 各部位の説明

### 3.3 3Dプリンタを活用したデジタル試作

一般的な木製家具の開発工程はメーカーによって異なるが、デザインの最終決定に至るまでには数度の実大試作を行うことが多い。

今回設計したスツールを1/3縮尺モデルとして出力(図14左)した。出力時間は高さ約14cmで約7時間程度であった。この縮尺モデルを用いて簡易的に強度を確認したところ、脚部下部の強度が不足している恐れがあることから、「貫き」という構造を追加(図14右)した。また、図15に示すように、座面の矧ぎ合わせを造形素材の色を変えることで意匠の検討を行った。

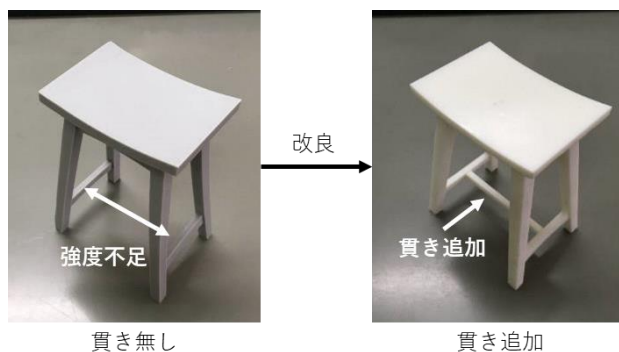


図14 3Dプリンタによる出力と改良

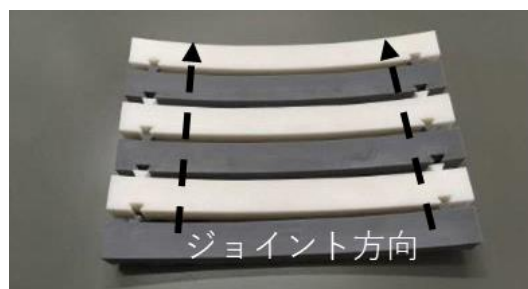


図15 座面の意匠性確認

これらの3Dプリンタによる縮尺モデルの検討を元に、製造のしやすさを考慮したスツールとして再設計を行った。再設計した木製スツールの全体像のCAD図面を図16、各部位の説明図を図17示す。

座面はジョイント部の方向を変え、意匠の変更を検討している(図18)。



図16 木製スツール(設計変更)





図17 各部位の説明



図18 座面の意匠性確認

以上のように、3Dプリンタを活用し、縮尺モデルを出力し、デザインの確認や修正を行うことは、製品開発の初期段階における開発工程の迅速化・効率化に効果があると考えられる。

また、業務用大型3Dプリンタは導入コストが大きいものの、木製椅子の実大サイズであっても1日程度で出力可能であることから、製品開発の初期段階へのラピッドプロトタイピング手法は有用であると考えられる。

#### 4. まとめ

これまでの設計・製造手法では実現が困難であった新たな意匠や機能を有する木製家具・椅子を実現するため、伝統技術と最新のデジタル技術を融合した新たな家具設計手法の考案を試みた。

本年度の研究では、木製椅子の設計に伝統的な木組みを取り入れるだけでなく、小径木や端材の積極的な利活用を目的に、木組みによる接合や接合部分をあえて見せるといった新たなデザインの検討を行った。

また、3Dプリンタを活用することで、製品開発の初期段階におけるデザインの確認、修正の効率化にデジタル試作が効果的であることを確認した。

#### 参考文献

- 1) 3方向に継げる継手：河合継手の発想と概要  
河合 直人  
建築の研究 (248), pp7-11,  
建築研究振興協会
- 2) Tsugite: 計算機を用いた木工継手・仕口の対話的設計と加工  
Maria Larsson, 吉田 博則, 梅谷 信行, 五十嵐 健夫  
[http://ma-la.com/tsugite\\_jp.html](http://ma-la.com/tsugite_jp.html)  
(2023年3月参照)
- 3) 図解 木工の継手と仕口(増補版)  
鳥海義之助 (株)オーム社

# 製品提案プロセスのデジタル化を目指したクッションの触感の可視化 (第1報) クッション製品の三次元変形の可視化

藤巻吾朗\*, 山口穂高\*, 関範雄\*

## Visualization of Tactile Sensation of Cushion for the Digitalization of Product Proposal Process (I) Visualization of Three-Dimensional Deformation of Cushioned Product

FUJIMAKI Goroh\*, YAMAGUCHI Hodaka\*, SEKI Norio\*

視覚情報を使ったクッションの触感の伝達手法を開発することを目的とし、その前段階として、クッション製品の三次元変形の測定方法や可視化手法について検討を行った。サイズ感が推定しやすいと考えられる人体形状を模したジグを作成し、体重相当の力を加えた状態を3Dスキャナで測定することでクッション製品の変形状態をデータ化した。また、測定結果そのままではジグで隠れて変形状態が把握しづらいため、測定結果からジグを削除する方法について検討を行い、クッション製品の変形状態を可視化した。ジグを削除した後の穴埋め処理の工程において、製品によっては手作業での修正や作業時間が増えてしまうため、検討の余地が残った。研究過程では問題はないと考えられるが、実用化の際には、様々な製品を測定していく中で処理方法の改善を進める。

### 1. 緒言

家具業界では実際の製品を見て、触れた時の体感を重視しており、これまでは店頭での販売が中心であった。しかし、オンラインショップでの直接購入や事前にインターネットで製品を調べてから店舗で確認する消費者が増えており、ウェブサイト上で製品イメージを消費者に伝えることが重要となっている。その中でも製品の触感は消費者の興味や関心を得る上で重要な因子の一つであるが、実際に触れずに第三者に伝えることは難しい。近年では触覚提示デバイスの研究が進んでいるが特殊なデバイスが必要であり、現状一般消費者に対して触覚そのものをオンラインで伝達することはできないため、視覚情報を使って製品の触感を伝達する手段が望まれると考えられる。そこで本研究では、クッション製品の三次元変形を可視化することで視覚情報を使ってクッションの触感を伝える手法を開発することを目的とする。対象とするクッション製品はソファや座椅子などの座位姿勢を保持する製品とし、その座り心地に関わるク

ッションの触感について検討を行う。本報告では、その前段階として、クッションの三次元変形の測定方法や可視化手法について検討を行った。

### 2. クッション製品の変形の可視化における課題

クッション製品の変形を可視化し、触感を伝える上で以下のような課題が挙げられる。

- ・ブロックや円盤などでクッションに力を加える映像は、クッション製品のサイズ感が推定しづらく、クッションの変形量や加わっている力が伝わりにくい。
- ・写真や座っている時のビデオ映像では、クッションの変形状態が身体で隠れてしまい、確認ができない。手や指で押している映像は、手で触ったときの触感を推定しやすいと考えられるが、加える力が弱く、接触面積も小さいため、座り心地に関わる触感の推定は難しい。
- ・実際のクッション製品は複数のクッションの積層や様々な種類の張生地の使用、また、張り方によって生地にかかる張力が異なってくるなど、クッション特性に関わる構成要素が複雑でシミュレーション技術の活用が困難である（図1）。

\* 試験研究部

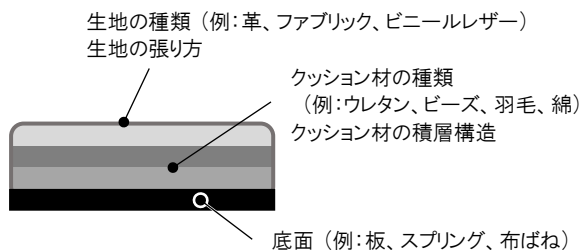


図1 クッションの構成要素

以上のことから、本研究では、サイズ感や重量が推定しやすいと考えられる人体形状を模したジグを作成し、体重相当の力を加えた状態を3Dスキャナで測定することでクッションの変形状態を可視化する手法を検討した。また、測定結果からジグを削除し、ジグとクッションの接触面をジグの形状をもとにメッシュで張り直すことでクッションの変形状態を見やすくすることを試みた。

### 3. 人体形状を模したジグの試作

人体形状については、過去の研究成果<sup>1)2)</sup>をもとに臀部から大腿部にかけての形状（座面形状）、腰部から背部にかけての形状（背面形状）それぞれについて日本人男性の平均的な形状を算出し、3Dプリンタ（L-DEVO）で出力した。また、人体寸法データ<sup>3)</sup>をもとにベースとなる金属フレームを作成し、角度条件の異なる座位姿勢に対応できるように考慮した（図2）。

ジグに積載するおもりについては、日本人男性の標準体重<sup>3)</sup>および日本人男性の身体部位ごとの質量比<sup>4)</sup>をもとに大腿部、下胴（臀部および腰部）、上胴（背部）、頭部のそれぞれの重量を決定した（表1）。足部、下腿部、手、前腕、上腕の重量は、座椅子自体にかかる重量はあまり大きくないと考え、ジグには積載しなかった。



図2 人体形状を模したジグの試作

表1 ジグに積載するおもりの重量

|       | 重量比<br>(%) | 日本人男性の<br>平均体重換算<br>(kg) | ジグに積載する<br>おもりの重量<br>(kg) |
|-------|------------|--------------------------|---------------------------|
| 頭部    | 6.9        | 4.6                      | 4.6                       |
| 胴体(上) | 30.2       | 20.1                     | 20.1                      |
| 胴体(下) | 18.7       | 12.5                     | 12.5                      |
| 上腕    | 5.4        | 3.6                      | -                         |
| 前腕    | 3.2        | 2.1                      | -                         |
| 手     | 1.2        | 0.8                      | -                         |
| 大腿    | 22         | 14.7                     | 14.7                      |
| 下腿    | 10.2       | 6.8                      | -                         |
| 足     | 2.2        | 1.5                      | -                         |
| 合計    | 100        | 66.7                     | 51.9                      |

### 4. クッション製品の変形の可視化手法の検討

クッション製品のひとつとして、本報告では座椅子を使用し、その変形状態の可視化手法について検討を行った。

#### 4.1 座椅子の三次元形状の測定(図3-①)

Artec EvaおよびArtec Studioを使用し、それぞれの座椅子について、力を加えていない状態（変形前）、ジグとおもりを載せた状態（変形後）の条件の測定を行った。ジグの設置方法については、JIS S1203の負荷位置決めジグの設置方法<sup>5)</sup>を参考に座椅子のできるだけ後方にジグを設置し、ジグの曲面と座椅子の曲面が合致するまで、ジグの座面を前方にてこの原理で押し出した。その後、表1に記載のおもりをジグに積載した。

数種類の座椅子を測定したところ、メッシュ生地や黒色の座椅子についてはエラーが発生しやすかった。こういったケースではジグを置いた状態での計測の方がしやすく、計測しやすい対象物を一緒に計測することである程度は改善されることが確認された。

#### 4.2 測定結果の位置合わせ(図3-②)

Geomagic DesignXを使用し、変形前の測定結果の座標合わせ（XYZ方向の修正）を行い、それを基準として、変形後の測定結果の位置合わせを行った。また、事前に測定しておいたジグの座面形状および背部形状についても変形後の測定結果に位置合わせを行った。位置合わせについては、特に問題はなかった。

### 4.3 3Dモデルの修正(図3-③)

Blenderを使用し、変形後の座椅子の測定結果について、3Dモデルの修正を行った。②で位置合わせをしたジグの座面形状、背面形状を2mm膨張させ、ブーリアン演算によりジグの削除を行った。穴埋め処理については、膨張前のジグの座面形状、背面形状の外側の面(座椅子と接する面)を抽出し、抽出した面のエッジ部分(座椅子と接していない部分や、接しているかわからない部分)を手作業で選択し、シュリンクラップ機能を用いて座椅子の座面、背面にそれぞれ合わせることで穴埋めを行った。

穴埋め処理については、単純な形状の製品は機械的に進めることができたが、肘掛けのあるものや複雑な形状の製品(凹凸の激しいものや特殊な機構のついたもの)については、3Dスキャナでは測定できない部分が多く、手作業での修正や作業時間が増えてしまうため、課題が残った。また、実際の変形状態とは異なることが推察されるため、触感推定に影響があるようであれば、今後、処理方法を見直す必要も考えられる。

### 4.4 アニメーション作成(図3-④)

Blenderのシュリンクラップ機能を使用し、変形前と変形後の座椅子の3Dモデルについてモーフィング処理を行い、座椅子の変形アニメーションを作成した。座り込みから立ち上がりまでの一連の動作を想定し、変形前→変形後(1秒間)、変形後の状態保持(1秒間)、変形後→変形前(1秒間)の3秒間のアニメーションを作成した。

変形にかかる時間や変形のパターンについては、アニメーションの設定により変更が可能だが、今回は作業時間の目安を把握したかったため、単純なアニメーションをサンプルとして作成した。アニメーションの設定値は、今後、触感の推定値との関係を調査した上で検討を進める。

## 5. まとめと今後の課題

視覚情報を使ってクッションの触感を伝える手法を開発するにあたり、その前段階として、クッションの三次元変形の測定方法や可視化手法について検討を行った。

クッションの三次元変形の測定については、サイズ感や重量が推定しやすいと考えられる人体形状を模したジグを作成し、体重相当の力を加えた

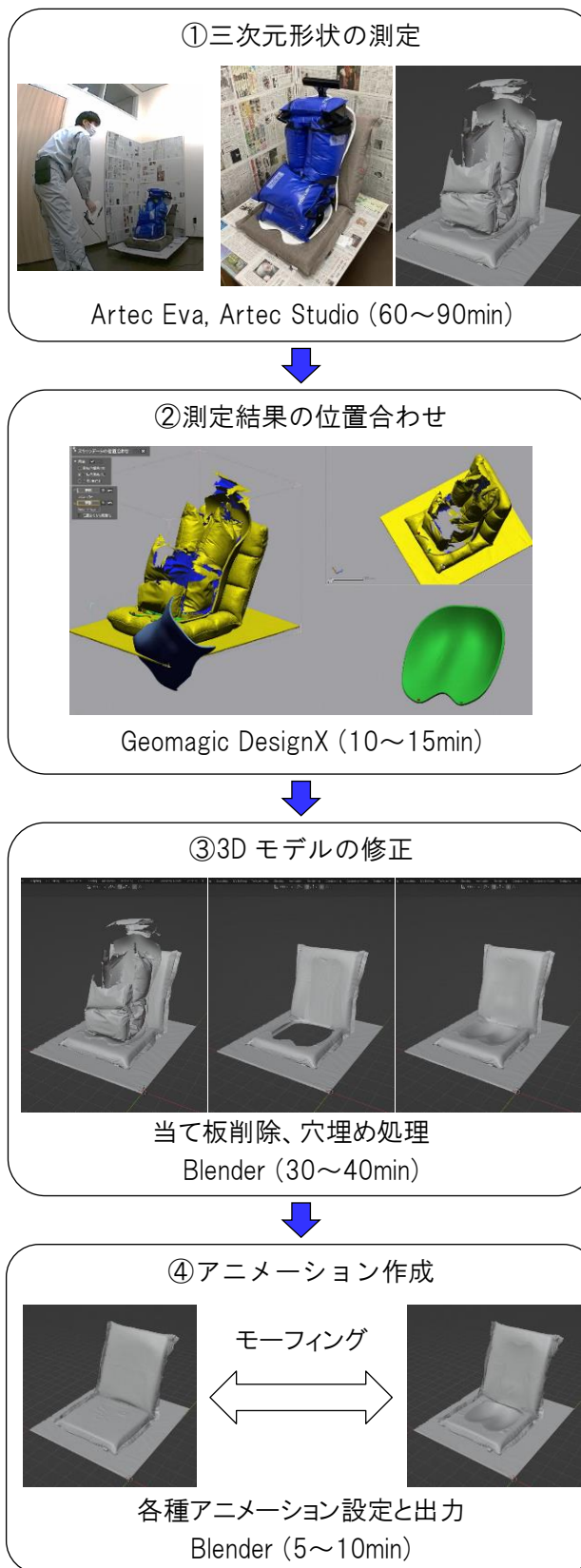


図3 クッション製品の変形の可視化手法



状態を3Dスキャナで測定した。また、測定結果をそのままの状態で見せてもジグで隠れてしまい、変形状態が把握しづらいと考えたため、測定結果からジグを削除する方法について検討を行った。単純な形状については問題なかったが、肘掛けのある座椅子や複雑な形状については3Dスキャナで測定できない部分が多く、手作業での修正や作業時間が増えてしまうため、穴埋め処理の方法に検討の余地が残った。研究過程では問題はないと考えられるが、実用化の際には、様々な製品を測定していく中で処理方法の改善を進める。

今後は提案したクッション製品の変形の可視化手法をもとに、表示方法（座椅子のみ、アバターの表示、断面図の表示等）や変形速度、変形パターンがクッション製品の触感推定にどのような影響を与えるか、また、実際に座った時の触感との違いについて調査を進める。

### 謝辞

本報告で使用した座椅子をご提供いただいた明

光ホームテック株式会社ならびにアキレス株式会社に感謝いたします。

### 参考文献

- 1) 藤巻吾朗他：座位姿勢における臀部形状の分析と座面形状の提案，岐阜県生活技術研究所研究報告，15，pp. 19-23，2013.
- 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，10，pp. 8-10，2008.
- 3) 生命工学工業技術研究所（編）：設計のための人体寸法データ集，日本出版サービス，1996.
- 4) 社団法人 日本エム・イー学会（編）：身体運動のバイオメカニクス，コロナ社，pp. 132-139，2002.
- 5) JIS S1203：家具—いす及びスツール—強度と耐久性の試験方法，財団法人日本規格協会，1998.

# 製品提案プロセスのデジタル化を目指したクッションの触感の可視化 (第2報) クッションの変形速度が触感推定に与える影響

藤巻吾朗\*, 山口穂高\*, 関範雄\*

## Visualizing the Tactile Sensation of Cushions for the Digitalization of Product Proposal Process (II) Effect of Cushion Deformation Speed on the Prediction of Tactile Estimation

FUJIMAKI Goroh\*, YAMAGUCHI Hodaka\*, SEKI Norio\*

視覚情報を使ったクッションの触感の伝達手法の開発を目的にクッション製品の三次元変形の可視化を行っている。ここでは、その可視化においてクッションの変形速度が触感の推定に与える影響をWebアンケートにより調査した。参加者にはランダムに呈示された4種類の座椅子の変形アニメーションを見てもらい、座り心地に関わる触感の推定値を回答してもらった。その結果、硬軟感については変形速度の影響は小さく、沈み込み量の影響が大きいと考えられた。また、反発感については、復元時間の影響が大きいと考えられた。底つき感については、スマートフォン利用時に荷重時間が長いと底つき感が誘発される可能性が示されたが、今回の調査では不明な点が多く、今後の課題となった。フィット感については、変形の速度はあまり影響しないと考えられた。

### 1. 緒言

近年、オンラインショップでの購入や事前にインターネットで製品を調べてから店舗で確認する消費者が増えており、ウェブサイト上で製品イメージを消費者に伝えることが重要となっている。その中でも製品の触感の消費者の興味や関心を得る上で重要な因子の一つであるが、実際に触れずに第三者に伝えることは難しい。本研究では、クッション製品の三次元変形を可視化することで、視覚情報を使ってクッションの触感を伝える手法を開発することを目的とする。対象とするクッション製品はソファや座椅子などの座位姿勢を保持する製品とし、その座り心地に関わるクッションの触感について検討を行う。先行研究では、CGやCAEの技術を活用し、弾性体を棒で押したときの沈み込みの深さ(変形の大きさ)が硬さの推定に影響を与えることが報告されている<sup>1)</sup>。クッションについても同様の傾向があると推察されるが、荷重を加えた時の変形の速さについては調査されていなく、本報告では、クッションの変形速度が触感の推定に与える影響を調査する。

### 2. クッションの触感

クッション製品の触感にはクッション素材の違いや積層の組み合わせ、張生地や素材や張り方法の違いにより異なり、非常に多くの要因が影響する。先行研究では、クッションの座り心地の総合評価に影響の強い因子として、「硬さ感」「底つき感」「反発感(または安定感やホールド感)」「フィット感」に着目したケースが多く、これらの項目がクッション評価における主要な因子であることが伺える<sup>2)~4)</sup>。これらの先行研究で得られた知見をもとに「硬軟感」「反発感」「フィット感」「底つき感」の4つの触感に着目し、これらの触感の伝達方法について検討を行う。

### 3. Webアンケート調査

#### 3.1 調査内容

20~49歳の日本人200名(男性100名、女性100名)を対象にWebアンケート調査を実施した。参加者にはランダムに呈示された4種類の座椅子の変形アニメーションを見てもらい、「やわらかい感じ」「跳ね返る感じ」「底につく感じ」「体に馴染む感じ」の4項目の触感についての推定値をそれぞれ5段階

\* 試験研究部

で評価してもらった（1：しない、2：ややする、3：する、4：かなりする、5：非常にする）。

### 3.2 呈示条件

呈示した座椅子の変形アニメーションは第1報<sup>5)</sup>で提案した手法をもとに座り込みから立ち上がりまでの一連の動作を想定し、非荷重状態から荷重状態に変形、荷重状態の維持、荷重状態から非荷重状態に変形するものとした。便宜上、非荷重状態から荷重状態への変形完了までの時間を荷重時間、荷重状態から非荷重状態への変形完了までの時間を復元時間と以降表記する。

呈示した座椅子の変形アニメーションは、すべて同じ3Dモデルを使用し、変形にかかる時間のみを変化させた（図1、表1）。

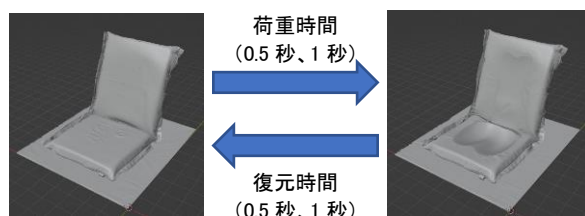


図1 座椅子の変形アニメーション概要

表1 変形アニメーションの呈示条件

|     | 荷重時間 | 復元時間 |
|-----|------|------|
| 条件1 | 0.5秒 | 0.5秒 |
| 条件2 | 0.5秒 | 1秒   |
| 条件3 | 1秒   | 0.5秒 |
| 条件4 | 1秒   | 1秒   |

## 4. 結果と考察

### 4.1 実験参加者のスクリーニング

200名の参加者のうち、すべてに同じ回答をした22名、サンプル毎にすべて同じ回答をした3名、5段階評価で回答が1と5のみであった2名を分析対象から除外した。また、回答時の利用端末で利用の少なかった「タブレット」「その他」については分析対象から除外し（表2）、計165名（男性76名、女性89名）のデータを分析に使用した。

表2 参加者の利用端末

| 利用端末     | 利用者数    |
|----------|---------|
| デスクトップPC | 41 (31) |
| ノートPC    | 64 (55) |
| タブレット    | 7 (7)   |
| スマートフォン  | 87 (79) |
| その他      | 1 (1)   |

( ) 内はスクリーニング後の参加者

### 4.2 全体的な傾向

4つのアンケート項目それぞれについて、利用端末、荷重時間、復元時間を要因とした三元配置の分散分析を行った。利用端末については、「デスクトップPC」「ノートPC」「スマートフォン」の3種類があったが、「ノートPC」と「デスクトップPC」は「PC」としてまとめて分析を行った。

「跳ね返る感じ」については、利用端末 ( $F=5.35$ ,  $p=0.02$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.03$ ) および復元時間 ( $F=4.78$ ,  $p=0.03$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.03$ ) で主効果があり、交互作用は認められなかった。「跳ね返る感じ」の評点の平均値および標準誤差を図2に示す。一般的に低反発のクッション材は復元時間が長いことが知られているため、復元時間が短い条件で「跳ね返る感じ」が強いと感じ、復元時間が長いと「跳ね返る感じ」が弱いと感じたと考えられた。しかし、条件間の評価の差は小さく、今後は呈示刺激の幅を増やして調査を行う必要があると考えられた。また、PCに比べてスマートフォンの方が跳ね返る感じを強く感じる傾向があった。スマートフォンは呈示画面が小さいため、刺激が小さく、触感の推定値が低くなることを想像していたが、視距離の近さや指で直接画面に触れて操作することが評価に影響を与えたことが推察される。

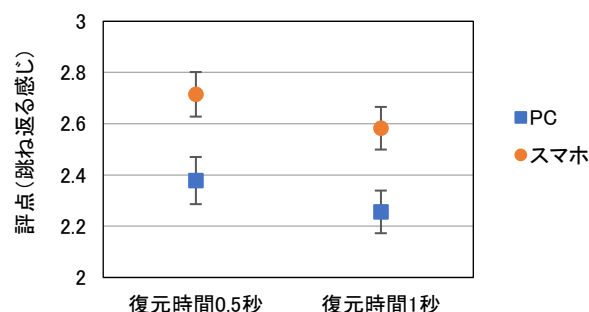


図2 跳ね返る感じの評価結果

「底につく感じ」については、利用端末で主効果 ( $F=4.00$ ,  $p=0.05$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.02$ ) があり、利用端末と荷重時間で交互作用が認められた ( $F=5.90$ ,  $p=0.02$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.03$ )。「底につく感じ」の評点の平均値および標準誤差を図3に示す。単純主効果の検定を行った結果、スマートフォン利用時には荷重時間に主効果 ( $F=7.79$ ,  $p=0.01$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.05$ )、荷重時間1秒の時には利用端末に主効果 ( $F=4.09$ ,  $p=0.05$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.05$ ) が見られ、スマートフォン利用時の荷重時間1秒の条件が他の条件に比べて「底につく感じ」を強く感じる傾向があった。調査前は荷重時間が短い条件

の方が「底につく感じ」を強く感じる傾向があると推察していたが、スマートフォン利用時に異なる結果となった。その理由については今回の調査では明らかにすることはできなかったが、アニメーションの再生時に指で直接画面に触れて操作することや視距離の近さが評価に影響を与えたことが推察される。

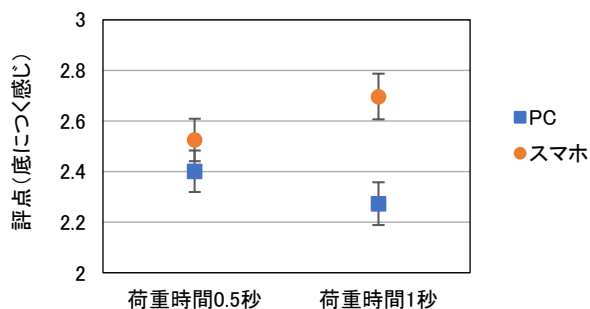


図3 底につく感じの評価結果

#### 4.3 評価傾向による分類

評価傾向による違いを調べるため、アンケートの回答結果を実験参加者ごとに標準化し、k-means法によるクラスター分析を行い、実験参加者を3つグループに分類した。分類したグループごとの各評価項目の平均評価点および標準偏差を図4に示す。グループ1は「やわらかい感じ」「体に馴染む感じ」を高く評価し「底につく感じ」を低く評価する傾向のあるグループ、グループ2は「跳ね返る感じ」を高く評価し、「やわらかい感じ」「底につく感じ」を低く評価する傾向のあるグループ、グループ3は「底につく感じ」を高く評価し、「跳ね返る感じ」や「体に馴染む感じ」を低く評価する傾向のあるグループであった。

実験参加者の性別、年齢、身長、体重をグループについては、グループ間に明確な差はなく（表3、図5）、実験参加者の身体特性は評価傾向にあまり影響しないと考えられた。また、グループ2は他のグループと比較してPCを利用した人が少ないグループであった。

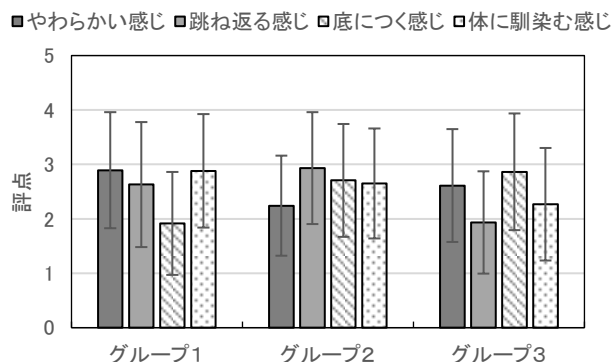


図4 グループごとの評価傾向

表3 グループごとの身体特性の集計結果

|          |          | グループ1 | グループ2 | グループ3 |
|----------|----------|-------|-------|-------|
| 性別 (人)   | 男性       | 27    | 21    | 28    |
|          | 女性       | 34    | 26    | 29    |
| 年齢 (歳)   | 平均       | 36.2  | 34.4  | 36.6  |
|          | SD       | 8.9   | 8.4   | 8.2   |
| 身長 (cm)  | 平均       | 163.5 | 164.2 | 166.1 |
|          | SD       | 8.3   | 8.6   | 9.3   |
| 体重 (kg)  | 平均       | 58.2  | 57.1  | 59.2  |
|          | SD       | 12.3  | 13.3  | 11.9  |
| 利用端末 (人) | デスクトップPC | 28    | 8     | 19    |
|          | ノートPC    | 12    | 7     | 12    |
|          | スマートフォン  | 21    | 32    | 26    |

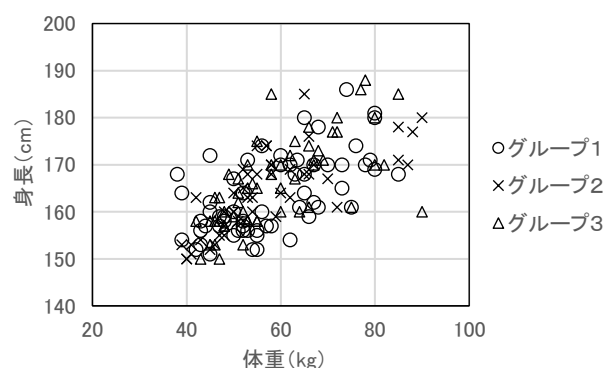


図5 グループごとの体格の分布

##### 4.3.1 グループ1

4つのアンケート項目それぞれについて、荷重時間、復元時間を要因とした二元配置の分散分析を行った。「やわらかい感じ」については、有意水準5%では主効果、交互作用ともに有意ではなかったが、復元時間の主効果に有意な傾向 ( $F=3.763$ ,  $p=0.057$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.059$ ) および荷重時間と復元時間に交互作用 ( $F=2.804$ ,  $p=0.099$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.045$ ) がみられた。単純主効果の検定を行った結果、荷重時間0.5秒の条件で復元時間に主効果 ( $F=8.811$ ,  $p=0.004$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.128$ ) が認め

られた。また、復元時間0.5秒の条件で荷重時間の主効果に有意な傾向 ( $F=3.573$ ,  $p=0.064$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.056$ ) があり、荷重時間、復元時間が共に短いときには、やわらかい感じの評価が低い傾向があった。「やわらかい感じ」の平均評点と標準誤差を図6に示す。

「跳ね返る感じ」については、復元時間に主効果 ( $F=8.94$ ,  $p=0.004$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.13$ ) がみられ、復元時間が短いと跳ね返る感じの評価が高い傾向があった。「跳ね返る感じ」の平均評点と標準誤差を図7に示す。

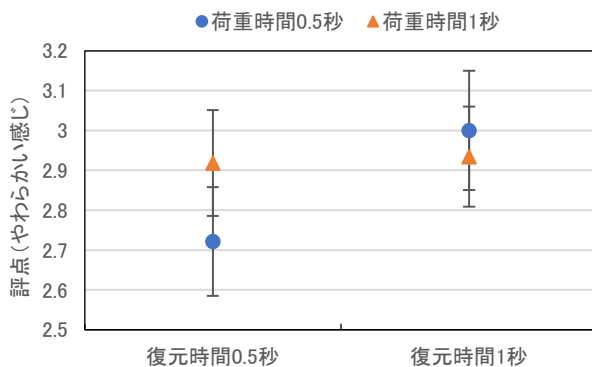


図6 やわらかい感じ (グループ1)

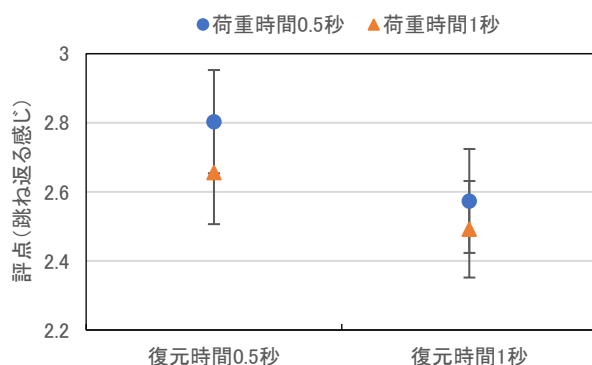


図7 跳ね返る感じ (グループ1)

#### 4.3.2 グループ2

4つのアンケート項目それぞれについて、荷重時間、復元時間を要因とした二元配置の分散分析を行った。

「跳ね返る感じ」については、荷重時間に主効果が認められ ( $F=4.231$ ,  $p=0.045$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.084$ )、復元時間の主効果に有意な傾向が見られた ( $F=3.871$ ,  $p=0.055$ ,  $\text{partial } \eta^2=0.078$ )。交互作用は認められなかったが、多重比較を行った結果、荷重時間0.5秒で復元時間が1秒の条件が他の条件と比較して有意に小さく (条件1>条件2,

$p=0.015$ ,  $r=0.349$ ) (条件3>条件2,  $p=0.015$ ,  $r=0.349$ ) (条件4>条件2,  $p=0.014$ ,  $r=0.352$ )、荷重時間に対して復元時間が長いと跳ね返る感じの評価が低い傾向があった。「跳ね返る感じ」の平均評点と標準誤差を図8に示す。

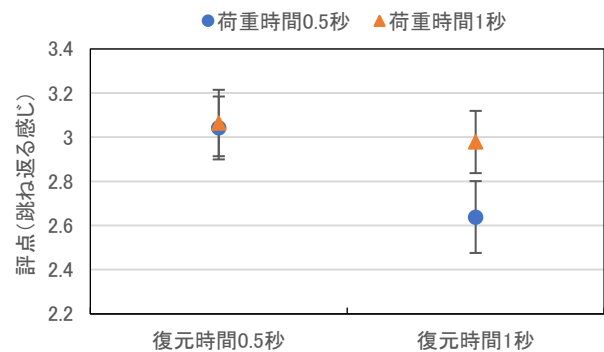


図8 跳ね返る感じ (グループ2)

#### 4.3.3 グループ3

4つのアンケート項目それぞれについて、荷重時間、復元時間を要因とした二元配置の分散分析を行った結果、いずれの評価項目についても主効果、交互作用ともに認められなかった。

グループ3に属した参加者についてはクッションの変形速度は触感の推定に与える影響は小さいと考えられる。

#### 4.4 結果に関するまとめ

「やわらかい感じ」については、変形速度の影響が確認されたのはグループ1のみで、荷重時間、復元時間が共に短いときには、やわらかい感じの評価が低い傾向があった。これは変形が完了するまでの時間が短いことに起因すると考えられ、沈み込みの深さが硬さの推定に影響を与えるとの報告<sup>1)</sup>があったことから、同じモデルを使っているにもかかわらず、同じモデルを使っているにもかかわらず、沈み込み量が他の条件と比べて小さいと感じ、それに伴い硬いと感じたのではないかと考察される。他のグループや全体的な傾向を調べた場合では変形速度の影響がみられなかったことから、「やわらかい感じ」については変形量の影響が大きく、変形速度の影響は小さいと考えられる。

「跳ね返る感じ」については、グループ1では復元時間が短いと跳ね返りを強く感じ、グループ2では荷重時間に対して復元時間が長いと跳ね返りが弱いと感じる傾向があった。グループ間で変形速度の影響が異なった理由の一つとして考えられるのは、想定する座り込みや立ち上がりの速度の

差であった。先行研究<sup>6)</sup>から座り込み動作にかかる時間（臀部着き始めから動作完了までの時間）は0.5～0.95秒程度、立ち上がり動作にかかる時間（動作開始から離臀開始までの時間）は0.65～0.96秒程度であるが、アニメーションを見た際に自身の動作が速い人は速い動作を想定し、自身の動作が遅い人は遅い動作を想定することが推察される。想定する動作速度とクッションの変形速度が同等であれば体の動きにクッションが追従する印象となり、想定する動作速度よりクッションの変形速度が速ければクッションに押し返される印象、想定する動作速度よりクッションの変形速度が遅いと体の動きにクッションがついてこなく低反発クッションのように反発感が低い印象となると考えられる。グループ1に属する参加者は、立ち上がりの動作を比較的遅く想定したために復元時間が短い条件で跳ね返る感じを強く感じ、グループ2に属する参加者は、立ち上がりの動作を比較的速く想定したため復元速度が短い条件で跳ね返る感じを強く感じなく、復元時間が長い条件で跳ね返りが弱いと感じたと推察される。また、全体的な傾向では、復元時間に主効果があり、「跳ね返る感じ」については、復元時間の影響が強いことが考えられる。視覚情報により反発感を伝えるためには、座り込みや立ち上がりの速度を想定しやすいような表示方法の検討や、一様な評価となるような速度帯域の検討などが課題として挙げられる。

「底につく感じ」については、全体的な傾向では、スマートフォン利用時の荷重時間1秒の条件が他の条件に比べて「底につく感じ」を強く感じる傾向があり、荷重時間が長いときには、小さい表示画面や指で直接操作することが、底つき感を誘発する可能性があると考えられた。しかし、評価傾向をもとに参加者を分類した結果では、いずれのグループにおいても主効果、交互作用は有意ではなく、今回の調査ではクッションの変形速度と「底につく感じ」との関係性を明らかにすることはできず、今後の課題となった。

「体に馴染む感じ」については、クッションの変形速度との関連性はみられず、影響は小さいと考えられた。

## 5. まとめと今後の展望

クッションの変形速度が触感推定に与える影響について、以下の知見が得られた。

- ・「やわらかい感じ」（硬軟感）については、変形速度の影響は小さいと考えられ、沈み込み量の影響が大きいと考えられた。

- ・「跳ね返る感じ」（反発感）については、復元時間の影響が大きいと考えられた。
- ・「底につく感じ」（底つき感）については、スマートフォン利用時に荷重時間が長いと底つき感が誘発される可能性が示されたが、今回の調査では不明な点が多く、今後の課題となった。
- ・「体に馴染む感じ」（フィット感）については、クッションの変形速度の影響は小さいと考えられた。

今回の調査では、変形速度のみ変化させた呈示サンプルを作成したが、今後はクッションの沈み込み量や表示方法（断面図やアバター要素の付加）の影響を調査する。また、実際に対象物に触れたときの感覚（絶対評価）との対応についても調査し、クッション製品の触感を直感的に伝達する手法の開発を目指す。

## 謝辞

本報告で使用した座椅子をご提供いただいた明光ホームテック株式会社ならびにアキレス株式会社に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) Paulun V.C., et al.: Shape, motion, and optical cues to stiffness of elastic objects, *Journal of Vision*, 17(1), 20, pp. 1-22, 2017.
- 2) 西松豊典他：座部パッド硬度が自動車シートの「座り心地」に及ぼす影響，*繊維学会誌*，66，1，pp. 68-73，2010
- 3) 滝本成人，堀越哲美，弓立順子：心理評価と変形特性を用いたクッション材の座り心地評価に関する指標化の試み，*人間と生活環境*，20(1)，pp. 77-83，2013.
- 4) 成瀬哲哉他：人間工学的手法による木製椅子の快適性評価と機能設計に関する研究（第10報）座面構成と心理量の関係，*岐阜県生活技術研究所研究報告*，8，pp. 17-26，2006.
- 5) 藤巻吾朗，山口穂高，関範雄：製品提案プロセスのデジタル化を目指したクッションの触感の可視化（第1報）クッション製品の三次元変形の可視化，*岐阜県生活技術研究所研究報告*，25，pp. 10-13，2023.
- 6) 高田谷久美子：椅子の種類の相違による高齢者の椅子からの立ち上がりと座り込みの動作特徴—青年との比較から—，*山梨大学看護学会誌*，9，1，pp. 21-27，2010.



# 木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第3報） ヒノキ芳香蒸留水抽出物のかび抵抗性試験

伊藤国億\*

## Effective Use of Aromatic Distilled Water by Drying Wood (III) Test for Fungus Resistance of Hinoki-Aromatic Distilled Water Extracts

ITO Kuniyasu\*

木材乾燥過程で排出される芳香蒸留水(FW)の抽出物を添加したブナ辺材およびスギ辺材のかび抵抗性試験をクロカビ(*Cladosporium sphaerospermum*)を用いて行った。5.0%(w/v)のFW抽出物添加木材において、試験体表面の菌糸の発育状態の判定および拭き取り培養による生菌数測定の内いずれも、かび抵抗性が認められた。また、FW抽出物添加木材と同梱した試験体においてもかび抵抗性が認められ、FW抽出物の揮発成分によるかび抵抗性が示唆された。

### 1. 緒言

スギ、ヒノキなどの住宅用材の乾燥過程で木材内の水分が排出蒸気とし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するため、木材乾燥をラボスケールから実大スケールまで行い、その成分や収量を検証<sup>1-3)</sup>し、精油生産の事業化を促進した。こうしたなか、精油回収の際に精油よりも多く回収される芳香蒸留水（以後、FWとする）に着目した。一般的にFWとは植物の枝葉から水蒸気蒸留により精油抽出とともに滞留して得られる水（ハーブウォーターとも言われる。）であり、抽出時に木材から水に溶け込んだ成分が含まれるため、その機能性を活用して古くから芳香剤や化粧水として利用されている<sup>4)</sup>。これと同じ原理で木材乾燥から得られるFWにも機能性成分が含まれていると考えられることから、ヒノキ材乾燥時に回収したFWの抽出成分を調査した。その結果、 $\alpha$ -テルピネオールやテルペン-4-オールなどのモノテルペンアルコールや $\alpha$ -カジノールや $\epsilon$ -ムウロロールなどのセスキテルペンアルコールが含まれていた<sup>5)</sup>。 $\alpha$ -カジノールや $\epsilon$ -ムウロロールは木材を腐朽させる

担子菌に対する抗菌活性を有することが認められている<sup>6-7)</sup>。テルペン-4-オールはティートリーオイルの主成分であり、様々な抗菌活性が知られている<sup>8)</sup>ことから、ヒノキ材乾燥時に回収したFWから有用成分を抽出し、FWの機能性の一つとして抗かび活性を評価した結果、クロカビや白癬菌に対する抗かび効果が認められた。また、FW抽出物の揮発成分による抗かび性も示唆された<sup>9)</sup>。

そこで、FW抽出物を木材に添加し、実用性評価としてJIS Z2911のかび抵抗性試験による評価を行った。また、本試験は目視評価による定性的或いは半定量的な手法であることから、より定量的に評価するため、拭き取り培養による生菌数測定を行った。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

##### 2.2.1 FW抽出物添加木材

FWはヒノキ除湿乾燥(Dehumidification Drying:DD)で除湿器から排出された凝縮水とヒノキ高温セット乾燥(High-Temperature Drying:HTD)で排出される蒸気を冷却回収した凝縮水を用いた。これらFWは前報<sup>9)</sup>と同様に固相抽出を行い、各乾燥で得られたFW抽出物をそれぞれDD\_fw\_ext.、HTD\_fw\_ext.とした。各抽出物は0.5、1.0、5.0%(w/v)になるようにアセトンで希釈した。

\* 試験研究部

かび抵抗性試験に用いる試験体はブナ辺材及びスギ辺材（いずれも径目、R30×L30×T1.5(mm)）とした。これら試験体はシャーレに3枚ずつ入れてオートクレーブ処理（121℃、20分）し、処理後は安全キャビネット内で一昼夜風乾した。風乾後、試験体にFW抽出希釈液150μlを滴下し、1時間風乾してアセトン除去した（以後、FW抽出物添加木材とする）。また、FW抽出物添加木材と同様にアセトンのみ滴下した試験体を調製し、FW抽出物添加木材の入ったシャーレに1枚ずつ同梱した（以後、FW抽出物同梱木材とする）。

### 2.2.2 供試菌株

クロカビ（*Cladosporium sphaerospermum*、NBRC 6348）を用いた。試験直前に0.005%クロラムフェニコール入りPDA平板培地を用いて28℃にて1週間の前培養を行った。前培養した菌株から胞子を湿潤剤添加滅菌水（スルホコハク酸ジオクチルナトリウム水溶液、0.005%）に加え、約 $10^6$ 個/mlとなるように単一胞子懸濁液を調製した。

### 2.2 FW抽出物添加木材のかび抵抗性試験

2.2.1にて調整した試験体（FW抽出物添加木材、FW抽出物同梱木材）に2.2.2で調製した胞子懸濁液0.5mlを接種し、シャーレを粘着テープで密閉し、26℃で4週間培養した。培養後、試験体表面の菌糸の発育を実体顕微鏡（（株）ニコンソリューションズ社製、SMZ1270）を用いて観察し、表1に従ってかび抵抗性を評価した。

### 2.3 生菌数測定

2.2で試験した試験体表面に発育した菌糸を採取するため、サンプリングスワブ（TexWipe社製、STX764T）を用いた。スワブ容器に予め湿潤剤添加滅菌水10mlを加え、湿らせたスワブで試験体表面を全方向から万遍なく拭き取りした。拭き取りしたスワブを容器に戻し、タッチミキサーで20秒以上攪拌した。この湿潤剤添加滅菌水を10倍希釈系列で希釈液を調製し、希釈液0.1mlを2枚のPDA平板培地にそれぞれ塗抹し、27℃で1週間培養した。

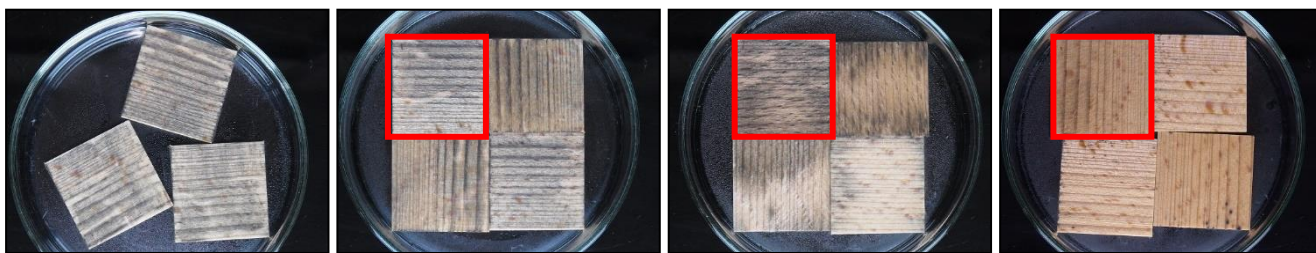


図1 *C. sphaerospermum*に対するFW抽出物(HTD\_fw\_ext.)を添加したブナ辺材のかび抵抗性試験  
左から順に抽出物添加濃度0%、0.5%、1.0%、5.0%、赤枠はFW抽出物同梱木材（抽出物無添加）

表1 かび抵抗性試験の判定方法

| 表示 | 菌糸の発育                                   |
|----|-----------------------------------------|
| 0  | 試料又は試験片の接種した部分に菌糸の発育が認められない             |
| 1  | 試料又は試験片の接種した部分に認められる菌糸の発育部分の面積が1/3を超えない |
| 2  | 試料又は試験片の接種した部分に認められる菌糸の発育部分の面積が1/3を超える  |

これら平板培地上に3～100個程度発育した菌集落数（CFU：Colony Forming Units）をカウントし、試験体1枚当たりの生菌数を算出した。

### 2.4 FW抽出物の放散成分分析

2.2.1にて調製した5%抽出液8μlを7mm角のブナ材に滴下し、5分以上室内で静置してアセトン除去した。これを前報と同様にサンプリングバックを用いて捕集した放散成分を、加熱脱着-GCMS分析により分析した。なお、放散濃度はα-Terpineol濃度に換算した。

## 3. 結果と考察

### 3.1 FW抽出物添加木材のかび抵抗性

かび抵抗性試験を行なった試験体の一例を図1に示す。また、かび抵抗性試験の判定結果および生菌数を図2に示す。生菌数の常用対数値を示す棒グラフ上にかび抵抗性試験の判定結果を表記した。

かび抵抗性試験の判定では“1”または“0”の場合において、生菌数の常用対数値は無添加の試験体よりも1以上小さかったことから、かび抵抗性試験の判定と拭き取り培養による評価は一致したと考えられる。

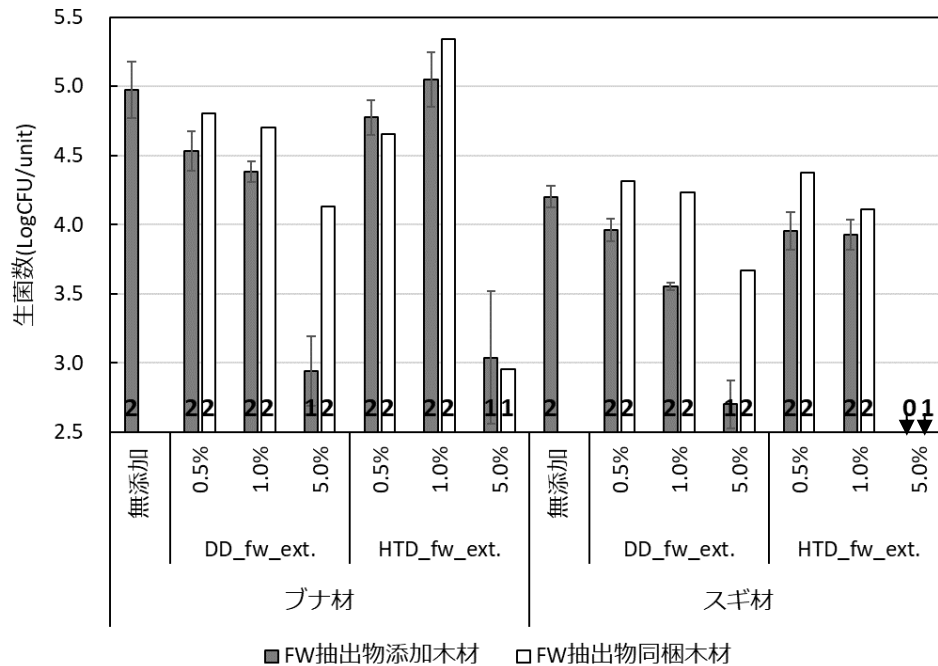


図2 各試験体のかび抵抗性試験の判定結果および拭き取り培養による生菌数

FW抽出物添加木材において、FW抽出物の添加濃度が高いほど試験体表面の生菌数が少ない傾向が認められ、5.0%は他の濃度よりも生菌数が著しく少なかった。抽出物の成分比が異なるDD\_fw\_ext. およびHTD\_fw\_ext.の間では明確な差は認められなかった。これは拭き取り後の湿潤剤添加滅菌水中の生菌数が少なく、塗抹培養した平板培地が3CFU未満であった場合、測定不能となるためである。故に、より詳細な評価を行うには予めスワブ容器に入れる湿潤剤添加滅菌水を減らして希釈前の孢子濃度を高くするなどの試験方法の再考が必要であった。また、FW抽出物添加木材の樹種間では総体的にブナ辺材の方がスギ辺材よりも生菌数が多かったが、FW抽出物添加濃度間における生菌数の増減傾向は変わらなかった。つまり、樹種によって菌の発育度合いが異なることが示唆された。試験期間中の試験体表面の菌糸の発育状態を実体顕微鏡で観察したところ、ブナ辺材はスギ辺材よりも素材内部での菌糸の発育が盛んであり、発育状態は異なっていた。

FW抽出物同梱木材において、0.5%および1.0%のFW抽出物同梱木材は無添加木材と同程度の生菌数であったが、5.0%のFW抽出物同梱木材の生菌数は他の試験体よりも少ない傾向が認められた。つまり、FW抽出物の揮発成分によって発育が抑制されたと考えられる。前報において白癬菌に対する抗かび性にFW抽出物の揮発成分が寄与したことから、

*C. sphaerospermum*に対して同様にFW抽出物の揮発成分がある一定量の濃度で寄与したと考えられる。また、5.0%のFW抽出物間ではHTD\_fw\_ext.のFW抽出物同梱木材の方が、DD\_fw\_ext.のFW抽出物同梱木材よりも生菌数が少なかった。前報で抗かび性に寄与すると考えられる揮発成分の放散量を表2に示す。放散量はHTD\_fw\_ext.がDD\_fw\_ext.よりも多く、最も放散量の多い成分は $\alpha$ -Terpineolであった。また、HTD\_fw\_ext.の放散成分はDD\_fw\_ext.に比べてセスキテルペンアルコール類が少なく、酢酸エステル類は同程度であった。前報において、放散量の少ないセスキテルペンアルコール類や酢酸エルテル類が、白癬菌に対する抗かび性に大きく寄与したが、クロカビに対する抗かび作用は白癬菌への作用とは異なると考えられる。前報の気体寄与率測定では5.0%FW抽出物を30 $\mu$ l使用したが、

表2 FW抽出物の放散成分 [mg/m<sup>3</sup>]

| 成分名                           | DD_fw_ext. | HTD_fw_ext. |
|-------------------------------|------------|-------------|
| Borneol                       | 1.34       | 4.59        |
| Terpinen-4-ol                 | 1.65       | 4.30        |
| Terpineol< $\alpha$ ->        | 1.92       | 13.69       |
| Bornyl acetate                | 0.08       | 0.09        |
| Terpinyl acetate< $\alpha$ -> | 0.09       | 0.11        |
| Murrolol<epi- $\alpha$ ->     | 0.15       | 0.03        |
| Cadinol< $\alpha$ ->          | 0.07       | 0.00        |

本試験ではシャーレ内にその15倍量（150μl/試験体×3枚）を使用したことから、総体的に放散量が多く、かび抵抗性に影響した可能性が考えられる。

#### 4. まとめ

木材乾燥過程で排出される芳香蒸留水(FW)の有効利用の一つとして、FW中に含まれる抗菌作用を有する精油分に着目し、FW抽出物添加木材（ブナ辺材およびスギ辺材）のかび抵抗性試験を *C. sphaerospermum* を用いて行った。5.0%のFW抽出物添加木材において、かび抵抗性試験の判定は“1又は0”であり、かび抵抗性が認められた。

また、試験後の試験体表面の拭き取り培養による生菌数測定を行った。FW抽出物の添加濃度が高いほど生菌数が少ない傾向にあり、5.0%FW抽出分添加木材の生菌数は他の試験体よりも著しく少なかったことから、かび抵抗試験の判定と同様のかび抵抗性が示唆された。

FW抽出物同梱木材においても5.0%においてかび抵抗性が認められ、FW抽出物の揮発成分もかび抵抗性を示唆することが認められた。また、FW抽出物間においては揮発成分が多かったHTD\_fw\_ext.のFW抽出物同梱木材にかび抵抗性が認められた。

#### 謝辞

本研究にあたり芳香蒸留水サンプルをご提供いただきました有限会社伊藤林産様、交告製材株式会社様に感謝の意を表します。

#### 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. 6-9, 2018.
- 3) 伊藤国億ほか：香りでやすらぐ木工製品の開発（第5報）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. 1-4, 2020.
- 4) 小木曾 加奈：信州産ハーブの芳香蒸留水-その特性と機能性-、長野県短期大学紀要 Vol. 64, pp. 49-59, 2009.
- 5) 伊藤国億ほか：木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第1報）芳香蒸留水の精油量について、岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 23, pp. 18-22, 2021.
- 6) 近藤隆一郎ら：ヒノキ心材の耐朽成分、木材学会誌, Vol. 32(3), pp. 213-217, 1986.
- 7) 金城和彦ら：担子菌栽培培地に関する研究(第4報) ヒノキの阻害活性, 木材学会誌, Vol. 32(8), pp. 632-636, 1986.
- 8) 井上重治ら：抗菌アロマテラピーへの招待, 2011.
- 9) 伊藤国億ほか：木材乾燥における芳香蒸留水の有用成分利用（第2報）ヒノキ芳香蒸留水抽出物の抗かび性, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 24, pp. 32-37, 2022.

# 繰り返し衝撃に対する椅子の接合強度向上の研究（第1報） 構造解析を用いた接合部と隅木の関係性の考察

森茂智彦<sup>\*1</sup>，柴田良一<sup>\*2</sup>

## Research on Improvement of Joint Strength of Chairs against Repeated Impact ( I ) Study of Relationship between Joints and Corner Block Using Structural Analysis

MORIMO Tomohiko<sup>\*1</sup>, SHIBATA Ryoichi<sup>\*2</sup>

椅子の着座中に脚と座枠の接合部が破損して座面が落下し、転倒して重傷を負った例がある。このような事故を防止するため、本研究では着座中に椅子の前脚を上げて落下させた時の接合部に加わる力の低減に取り組む。今回は、接合部に加わる力と隅木の形状の関係を構造解析により調べた。結果、繰り返し衝撃に対し、隅木の形状によって椅子の後脚と側座枠の接合部に加わる力を低減できることが示唆された。

### 1. 緒言

NITE 事故情報データベース<sup>1)</sup>によると、椅子の着座中に脚と座枠の接合部が破損して座面が落下し、転倒して重傷を負った例がある。原因の一つとして、椅子の前脚を上げて後脚のみで接地する使用状態を続けていくうちに割れや亀裂が広がり、部材が外れて事故に至ったと考えられている。また、上げた前脚を落下させると、座っている人の体重による衝撃が接合部に加わり、これが繰り返されることで徐々に接合部が抜けていき、やがて座面の落下に繋がることも考えられる。

このような動きに対する性能評価試験として、繰り返し衝撃試験が挙げられる。この試験は、JIS S 1032:1991 7.5.1<sup>2)</sup>にて荷重試験として規定されている(図1)。この規格は旧規格であるが、現在でも実施されることがある試験方法である<sup>3)</sup>。

繰り返し衝撃試験に対する接合強度を高める研究として、仕口のホゾ形状に関する研究がある<sup>4)</sup>。しかし、仕口の接合強度を向上させた場合、接合部が抜けなくなる代わりに材料が割れるようになることがある。そのため、接合強度を高めると同時に接合部に加わる力を低減させる方法も考える必要がある。

そこで本研究では、繰り返し衝撃に対する椅子の接合部の強度向上と衝撃低減を目的とする。繰り返し衝撃試験によって異常が見られる場合には、経験上、後脚と側座枠の接合部が抜けることが多

い。そのため、本研究では後脚と側座枠の接合部について検討する。また、接合部に加わる力に影響を与える因子として、今回は隅木に着目する。一般的に隅木は座枠同士の固定や補強に使われるが、脚との接合部に加わる力にも影響するのではと考えた。そこで、椅子の前脚に衝撃荷重を加えた際に、隅木の寸法変化により、後脚と側座枠の接合部に加わる力がどのように変化するか解析し、接合強度への隅木の影響を調べる。その後、解析結果から隅木の設計指針を考察する。

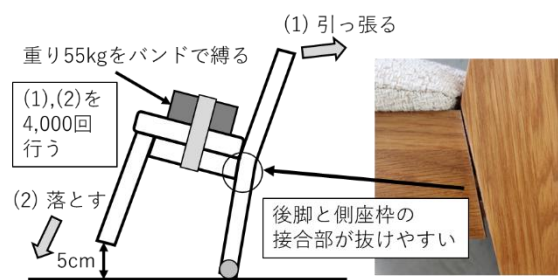


図1 繰り返し衝撃試験の概要

### 2. 解析

#### 2.1 解析方法

解析に用いる形状とその寸法を図2に示す。図2は椅子の後脚とそれに接合する側座枠と後座枠、側座枠と後座枠を繋ぐ隅木から構成される。今回はそれら部材が完全に繋がっているものとして解

<sup>\*1</sup> 試験研究部

<sup>\*2</sup> 岐阜工業高等専門学校



析を行う。また、方針として基礎的な解析とするため、衝撃解析ではなく静荷重による弾性解析で代用し、繰り返し荷重ではなく1回の静荷重とする。異方性は考慮せず等方性材料とする。形状作成ソフトは Autodesk Inventor2014、解析ソフトは無償で使用可能な統合支援ソフト EasyISTR Ver.3.34 を使用する。メッシュ化は Salome Ver.9.9.0、ソルバ（計算）は FrontISTR Ver.5.4、ポスト（結果の可視化）は ParaView Ver.5.10.1 を用いる。メッシュ化のパラメータは NETGEN 1D-2D-3D とし、メッシュサイズを最大 20、最小 10 とする。材料物性値は、ヤング率 5.5GPa、ポアソン比 0.3、密度 900kg/m<sup>3</sup> とする。境界条件は、図3に示すように後脚の底の変位を固定し、側座枒の先端を上方向に 500N の荷重を加える。荷重量は実際の値とは異なる場合があるが、相対比較のため、ひとまずこの値とする。

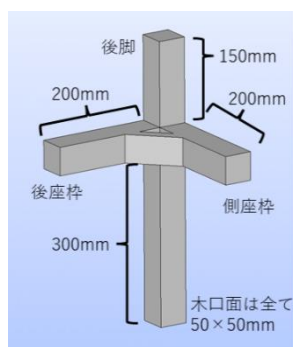


図2 形状寸法

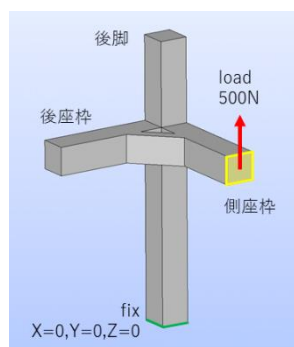


図3 境界条件

## 2.2 隅木形状の条件

表1と図4に隅木形状の条件を示す。後脚から隅木までの長さ a(mm)、隅木の厚さ b(mm)を変化させる。

表1 隅木形状の寸法条件

| a(mm) | b(mm) | 表記    |
|-------|-------|-------|
| -     | -     | 隅木なし  |
| 10    | 10    | 10-10 |
| 10    | 30    | 10-30 |
| 10    | 50    | 10-50 |
| 40    | 10    | 40-10 |
| 40    | 30    | 40-30 |
| 40    | 50    | 40-50 |
| 70    | 10    | 70-10 |
| 70    | 30    | 70-30 |
| 70    | 50    | 70-50 |

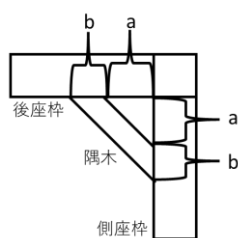


図4 パラメータとの対応

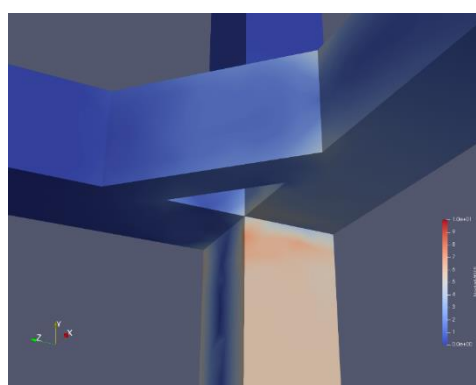
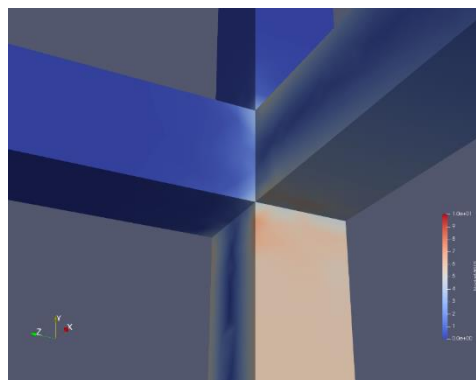
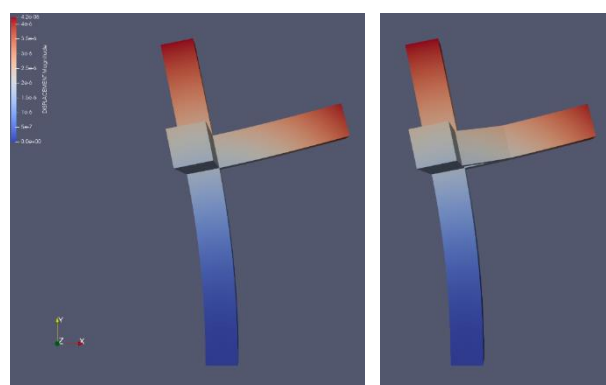
## 3. 解析結果と考察

### 3.1 ミーゼス応力

図5にミーゼス応力の解析結果を示す。隅木ありについては、例として 40-30 の結果を示す。

### 3.2 変位

図6に変位の解析結果を示す。隅木ありについては、例として 40-30 の結果を示す。隅木条件や隅木の有無に関わらず、同様の結果になった。

図5 ミーゼス応力の解析結果  
(上：隅木なし、下：隅木あり (40-30))図6 変位の解析結果  
(左：隅木なし、右：隅木あり (40-30))



### 3.3 接合部に加わるミーゼス応力の比較

図5から後脚と側座枠の接合部の下側に加わるミーゼス応力を比較する(図7)。各節点のミーゼス応力を比較した結果を図8に示す。また、各節点のミーゼス応力の平均値を比較した結果を図9に示す。

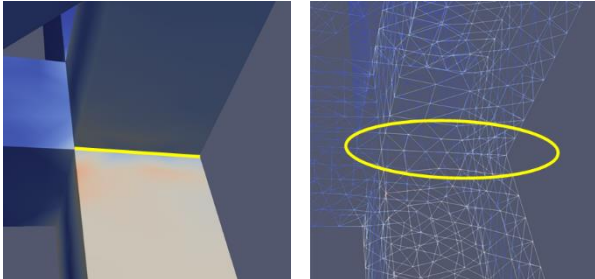


図7 比較する接合部の節点  
(左上：表面形状、右上：メッシュ、下：節点番号)

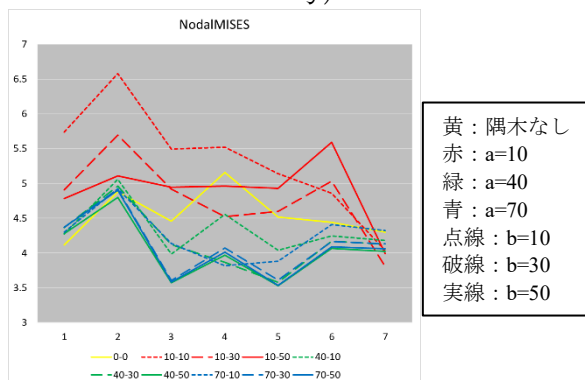


図8 各節点のミーゼス応力

### 3.4 考察

図8、図9の結果より、隅木の形状によって接合部に加わるミーゼス応力は変化する。脚と隅木の距離  $a$  が10の場合は隅木なしよりミーゼス応力が大きい、40や70になると隅木なしより小さくなる。これは、脚から隅木までの距離が近すぎると( $a=10$ )、応力が集中し接合部に加わる力が大きくなるが、ある程度長くすると( $a=40, 70$ )、隅木から側座枠の先端までの長さが短くなることで接合部に

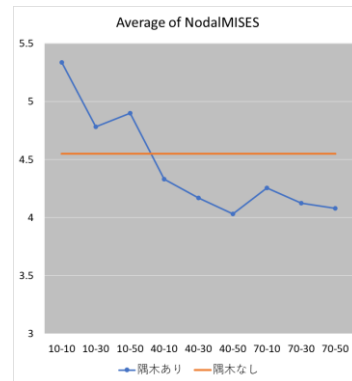


図9 各節点のミーゼス応力の平均値

加わるモーメントの力を減らすことができるためと考えられる。また、最も低い値となったのは  $a=40$ ,  $b=50$  の時であり、 $a$  の値には適値があると考えられる。 $a$  の値が一定の時、隅木の厚さ  $b$  が大きいほどミーゼス応力は小さい結果であった。これは、剛性が上がるためと考えられる。ただし、今回比較した節点は特異点であったため、他の評価も含めて検証していく必要がある。

## 4. まとめ

本検討によって、以下の結果が得られた。

- ・繰り返し衝撃に対し、隅木の形状によって椅子の後脚と側座枠の接合部に加わる力を低減できることが示唆された。
- ・上記の低減効果を得るには、隅木の取付位置を適切に考慮する必要がある。また、隅木の厚さが大きいほど、低減効果は大きい。

解析方法の妥当性確認や実際の椅子を用いた評価については、今後の課題としたい。

## 参考文献

- 1) NITE 事故情報データベース、<https://www.nite.go.jp/jiko/jiko-db/accident/search/>、例えば年度番号 A200900324、2023年3月26日参照
- 2) JIS S 1032:1991、鋼製事務用いす、1991
- 3) 沖公友ら、高知県産ヒノキの効率的利用に関する研究、高知県立森林技術センター 平成30年度研究成果報告書、pp.11-12、2019
- 4) 伊藤健ら、接合構造改善開発に関する研究、工業技術連絡会議東北・北海道地方部会研究論文集、Vol.13、pp.17-21、2001

# 超撥水処理による木材の耐水性向上（第3報） 深さ方向分析

三井勝也\*

## Improvement of Water Resistance of Wood by Superhydrophobic Treatment (III) Depth Profiling

Katsuya MITSUI\*

本研究ではトリメトキシ（1*H*, 1*H*, 2*H*, 2*H*-ヘプタデカフルオロデシル）シランを用いてブナ材を気相処理し、試験体の深さ方向（厚さ方向）への処理の程度を接触角測定で評価した。表層においては、木口から25mmおよび75mmとも、接触角が120°以上で高撥水性を示した。表層を1mm研削したとき、木口から25mmの箇所では接触角が111.4°、75mmの箇所では87.9°であった。表層から深くなるにつれ、また、木口から離れるにつれ、接触角は小さくなった。これは試薬の木材中での拡散に影響するものと考えられるが、深さ1mmにおいても接触角が高いことから、使用上、摩耗等が発生しても十分撥水効果は得られると考えられる。

### 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、耐候性や耐水性などを向上させる必要がある。これまでに、当研究所ではエステル化<sup>1-3)</sup>や日本の伝統的素材である柿渋やベンガラなど<sup>4-6)</sup>による耐水性向上を図ってきた。しかし、それぞれの手法にはメリット・デメリットが存在する。木材のエステル化の代表的なものとして、アセチル化が挙げられる。木材のアセチル化については古くから研究されており、寸法安定性が向上すること<sup>7)</sup>や、処理による材色変化が小さいこと<sup>8)</sup>、また、その後の照射によっても黄変がしないこと<sup>9)</sup>などの利点がある一方、処理の設備や廃液処理などにコストがかかること、処理後に、反応が適切に進んだかどうかを簡単に確認することが出来ないなどのデメリットがある。柿渋やベンガラについては、従来から塗料として利用されているため、取り扱いなどは化学修飾に比べて容易ではあるが、木材そのものの材色が失われるという欠点がある。これらの欠点を解消する方法として、シランカップリング剤による処理法を採用した。これまでに、12種のシランカップリング剤をセルローズろ紙に適用し、接触角測定を行い、その撥水性を評価し<sup>10)</sup>、その結果か

ら効果の高かった10種のシランカップリング剤を木材に適用し、耐候試験による撥水性の変化等を検討した<sup>11)</sup>。処理木材は無処理材同様に耐候試験により、材色変化を引き起こすものの、撥水性は保たれていたことから、屋外での利用の可能性が示された。

これら処理木材を屋外で利用するには、耐候性のみならず、ヒトが触れたり、モノとの摩擦などにより、表層の摩耗が起こる。その際に、材料の内部までシランカップリング剤が反応し、撥水性を有しているかどうか問題になる。そこで、今年度は、材料の内部の撥水性を確認するため、表層から順次スライスし、接触角を測定することにより、内部評価を行うことを目的とした。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

本研究にはブナ（*Fagus crenata*）を用いた。試験片サイズは70mm(T)×10mm(R)×150mm(L)とした。

#### 2.2 シランカップリング

シランカップリングは気相処理により実施した。図1に示すように、2Lビーカー底部にシランカップリング剤を入れたシャーレを静置し、試験片を入

れたのち、ビーカー上部をラップで軽く密閉し、乾燥機を用い80℃で4日間加熱した。シランカップリング剤には、トリメトキシ(1H, 1H, 2H, 2H-ヘプタデカフルオロデシル)シラン(東京化成工業株式会社)を用いた。



図1. 気相法によるシランカップリング処理

### 2.3 接触角測定

接触角測定には、自動接触角計(DMS-200:協和界面科学株式会社)を用いた。試験体表面に蒸留水2.0μLを滴下し、 $\theta/2$ 法で測定した(図2)。

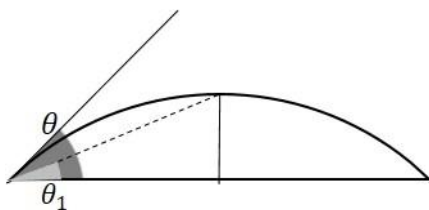


図2.  $\theta/2$ 法による接触角測定 ( $\theta$ : 接触角)

接触角の測定箇所は図3に示すように、試験体の幅方向(T方向)中央、木口面から25mmおよび75mmの箇所で、表層、表層から1mm、3mm、および5mmの深さの位置を測定した。研削は自動一面かな盤を用い所定の厚みになるよう設定した。

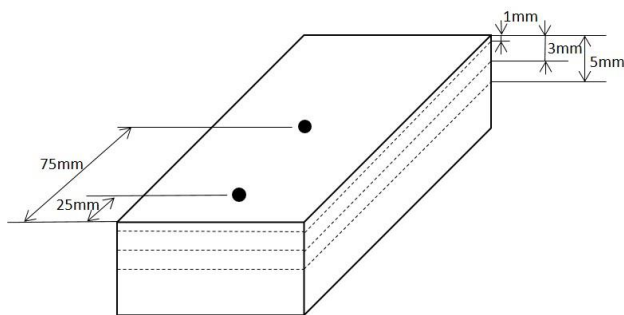


図3. 深さ方向分析の測定箇所

### 3. 結果と考察

図4に表層からの深さと接触角の関係を示す。なお、○印は木口から25mm、□印は木口から75mmの位置を示す。表層において接触角は木口から25mmでは121.4°、75mmでは129.9°であり、いずれも高撥

水性を示した。表層から1mm離れた深さにおいては、木口から25mmの位置においては111.4°、木口から75mmの位置においては87.9°であった。表層から3mmの深さにおいては、それぞれ、100.2°および71.0°、表層から5mmの位置においては、それぞれ、79.8°および52.8°であった。

これらの結果から、材内へのシランカップリング剤の拡散は、水分拡散同様、半径方向への拡散に比べ、繊維方向への拡散が大きいことが明らかになった。また、表層から5mm、木口から75mmの位置は、試験に用いた材料の中心に位置するが、ブナ無処理材の平均接触角が50.6°であることから<sup>11)</sup>、ほとんど反応していないことが明らかとなった。

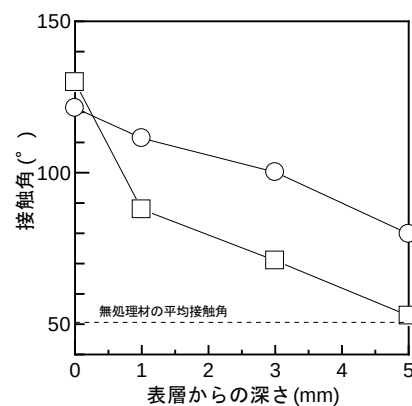


図4. 表層からの深さと接触角の関係

○: 木口からの距離25mm、□: 木口からの距離75mm

屋内外にかかわらず、木材を利用する場合は、表面の摩耗性が課題になる。特に、塗装などを含め、化学修飾などが施されている場合、摩耗により、その化学修飾の利点が失われてしまう場合がある。本研究では深さ1mmにおいて、撥水性が概ね保持されていることを確認した。一般的な木材利用では摩耗による表層減少が1mmに達することはまれであることから、十分に耐えうるものであると考えられる。

また、本研究では、T方向の分布、さらに、処理時間の影響を考慮しなかったが、それらを考慮し、拡散方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} = c^2 \nabla^2 u$$

$u$ : 拡散物質の濃度≡接触角

$c^2$ : 拡散係数

$t$ : 時間

$$\nabla^2 u = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2}$$

を検討することにより、最適な処理時間が導出で

きることから、それらは今後の課題である。

また、緒言でも述べたように、他の化学修飾や含浸処理と比較した場合、性能や処理方法の簡便さはかなり良いが、コスト面の問題がある。コストの問題をクリアするために、必要最小限の薬品量の計算も今後の問題として検討する必要がある。

#### 4. まとめ

本研究では、シランカップリング剤を用いた撥水処理木材について深さ方向にどの程度まで反応し、撥水処理能力を有しているかを確認した。その結果、材料の半径方向に比べ、繊維方向の方が浸透が早く、深さ1mmにおいてもおおむね撥水性があることが確認できた。

#### 参考文献

- 1) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.17, pp.20-22, 2015.
- 2) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発(第2報) レッドオーク材のアセチル化, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.18, pp.14-16, 2016.
- 3) 三井勝也, 伊藤国億, 石原智佳, 稲垣哲也, 土川寛: 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発(第3報) 近赤外ハイパースペクトラルイメージング法によるアセチル化度の可視化, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.19, pp.9-11, 2017.
- 4) 三井勝也, 伊藤国億: 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1報) 柿渋とベンガラの混合比と接触角の関係, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.20, pp.31-33, 2018.
- 5) 三井勝也, 伊藤国億: 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.
- 6) 三井勝也, 伊藤国億: 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, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.22, pp.19-20, 2020.
- 7) Hill, C.A.S., Jones, D. : The dimensional stabilization of Corsican pine sapwood by reaction with carboxylic acid anhydrides. *Holzforschung*, Vol.50(5), pp.457-462, 1996.
- 8) Ohkoshi, M : FTIR-PAS study of light-induced changes in the surface of acetylated or polyethylene glycol-impregnated wood, *Journal of Wood Science*, Vol.48(5), pp.394-401, 2002.
- 9) Mitsui, K. : Acetylation of wood causes photobleaching. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, Vol.101, pp.210-214, 2010.
- 10) 三井勝也, 伊藤国億: 超撥水処理による木材の耐水性向上(第1報) シランカップリングによるセルロースの撥水処理, 岐阜県生活技術研究所研究報告, No.23, pp.43-45, 2021.
- 11) 三井勝也: 超撥水処理による木材の耐水性向上(第2報) シランカップリング処理木材の耐候性, 岐阜県生活技術研究所報告, No.24, pp.61-64, 2022.

# 幅はぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第3報） 幅はぎ板の構成の特徴と反り変形との関係

今西祐志\*

## Study on Development of Technology to Prevent Warpage of Edge Glued Boards (III) The Relation Between the Characteristics of Configuration of Edge Glued Board and Warpage

IMANISHI Hiroshi\*

幅はぎ板を構成する各板材の年輪の特徴から含水率変化による反り変形を予測する手法を考案し、それを用いて幅はぎ板の構成の特徴と反り変形の大小との関係を検討した。板材断面のおよそ樹心方向に着目し、それらが隣接2材で交わらないようにすることで、高い反り抑制の効果が期待できることが示唆された。これは、木表と木裏を交互に配置する反り対策よりも優先すべきと考えられた。

### 1. 緒言

テーブル天板や収納箱の扉、椅子の座板などに用いられる幅はぎ板では、含水率変化に伴う反りが生じることがあり、使用時の問題とならないよう対策が必要である。本研究では、幅はぎ板の含水率変化による反りを小さく抑える技術を開発することを目的として検討を重ねてきており、先の報告<sup>1, 2)</sup>で、板材の年輪の特徴をもとに幅はぎ板の反り変形を予測する計算手法を提案し、試作した幅はぎ板に温湿度負荷を与える環境試験で反り挙動を測定して、計算値と測定値を比較することで、提案した計算手法が妥当であることを示した。本報では、この計算手法を用いて、幅はぎ板の構成の特徴と反り変形の大小との関係を検討した。

### 2. 想定した板材と幅はぎ板

#### 2.1 幅はぎ構成の数

板材 $n$ 枚の幅はぎ板を考える場合、ある構成を上下や左右で反転させた場合に他の構成と一致するものを除くと、その構成の数は順列 $P$ を用いて次式で計算できる。

$$\text{板材}n\text{枚の幅はぎ構成の数} = {}_nP_n \cdot 4^{n-1}$$

本報では、板材4枚の幅はぎ板を検討対象として、1536通りの構成の特徴と反りとの関連を調べた。

#### 2.2 想定した板材と含水率変化

図1に、想定した板材4枚を示す。板材の断面寸法は全て幅100mm、厚さ30mmで、断面中心を原点とする樹心の位置 $(r_x, r_y)$ を様々に設定した。また、板材の組み合わせは、年輪の特徴により次の4通りとした。

- ① 板目材4枚
- ② 追柾目材4枚
- ③ 板目材2枚・追柾目材2枚
- ④ 柾目材4枚

樹種はブナを想定し、長さ変化率は0.15%/％MC（放射）、0.41%/％MC（接線）<sup>3)</sup>とした。含水率変化は5%の増加（吸湿）とした。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 幅はぎ板の矢高と反り率

表1に、板材の組み合わせのそれぞれについて矢高（幅はぎ板両端を結ぶ直線から幅はぎ板表面に下ろした垂線の最大値）と反り率（幅はぎ板の幅に対する矢高の割合）の計算結果を示す。追柾目材を含む組み合わせである②と③で比較的反り率が大きい。反り率の許容範囲は幅はぎ板の用途などによって異なるが、例えばテーブル天板で目安とされる0.3%以下（1m長さに対して矢高が3mm以

\* 試験研究部



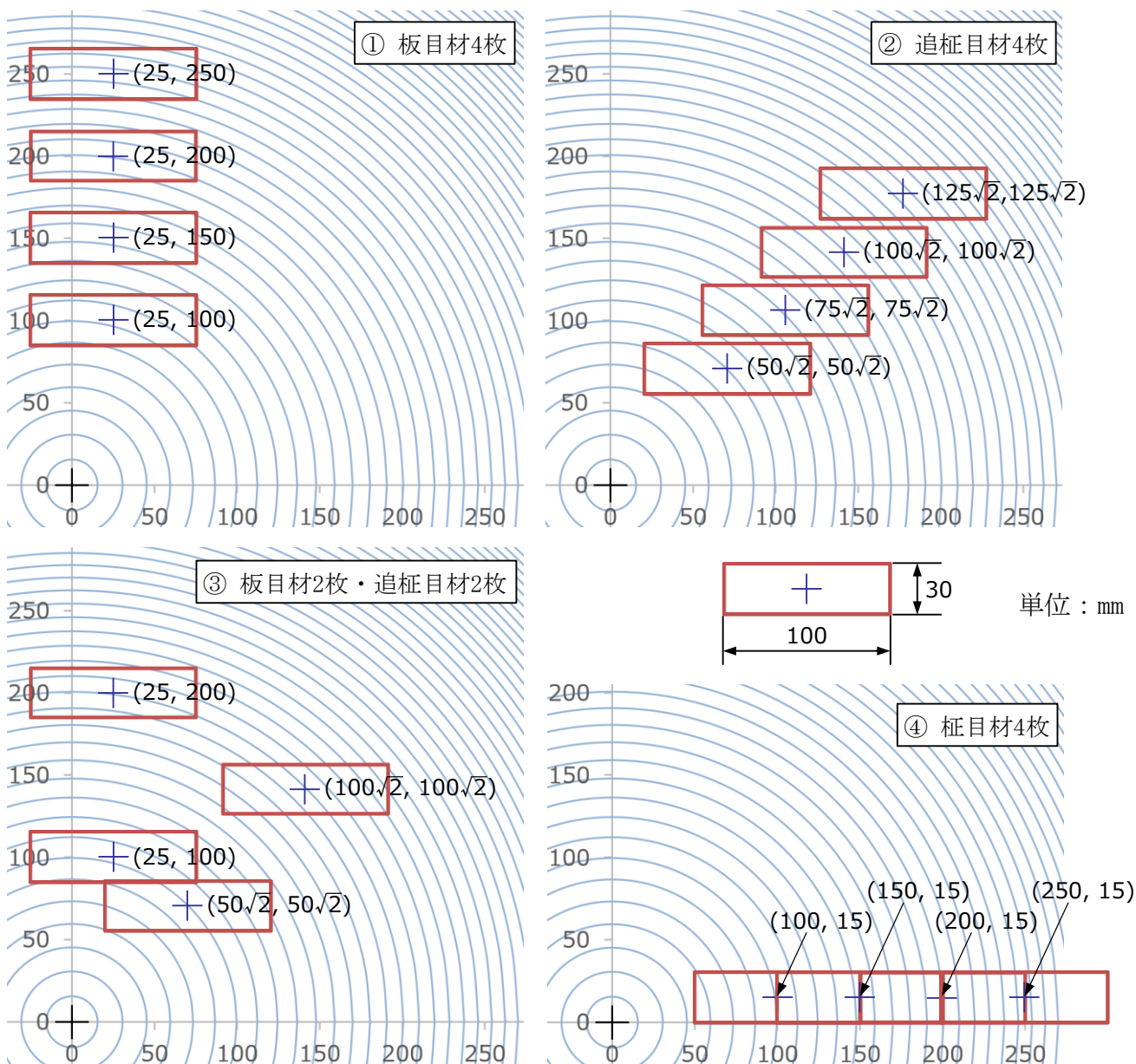


図1 想定した板材4枚の組み合わせ

表1 板材4枚による幅はぎ板の矢高と反り率

| 板材の<br>組み合わせ | 矢高 [mm] |       | 反り率 [%] |       |
|--------------|---------|-------|---------|-------|
|              | 最小      | 最大    | 最小      | 最大    |
| ①            | 0.0193  | 0.827 | 0.00474 | 0.203 |
| ②            | 0.0566  | 3.26  | 0.0139  | 0.804 |
| ③            | 0.152   | 2.28  | 0.0374  | 0.560 |
| ④            | 0.0165  | 0.941 | 0.00409 | 0.233 |

下) を許容するものとする。組み合わせの②と③の一部が許容範囲から外れる。そこで、これらの

組み合わせについて、構成の特徴をさらに詳細に検討した。

構成の特徴を表記するため、板材の木表側と樹心方向に着目して、隣接2材の関係性を図2のように分類する。すなわち、

平行配置：隣接2材の樹心方向が交わらない。

交差配置：隣接2材の樹心方向が交わる。

交互配置：隣接2材の木表側が揃っていない。

連続配置：隣接2材の木表側が揃っている。

ただし、ここでの樹心方向は、断面の長手方向から $\pm 45^\circ$ または $\pm 135^\circ$ でおおよその樹心方向を示したものである。



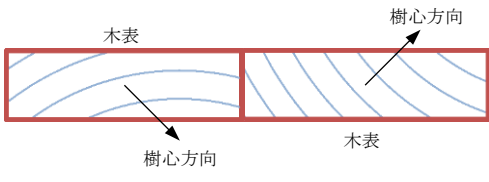
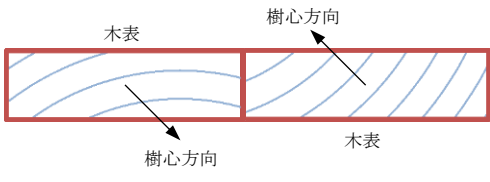
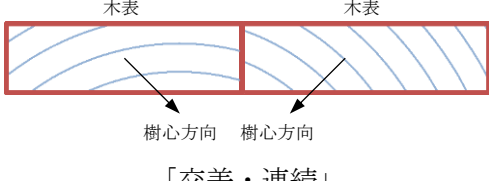
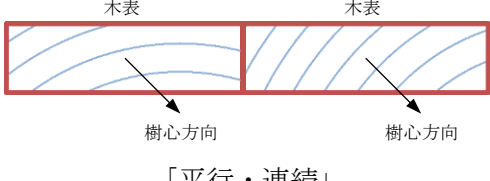
|                          | 樹心方向が交わる<br>「交差配置」                                                                           | 樹心方向が交わらない<br>「平行配置」                                                                          |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 木表側が<br>揃っていない<br>「交互配置」 | <br>「交差・交互」 | <br>「平行・交互」 |
| 木表側が<br>揃っている<br>「連続配置」  | <br>「交差・連続」 | <br>「平行・連続」 |

図2 隣接2材の関係性の分類

### 3.2 追衿目材4枚の幅はぎ板の場合

図3は、板材の組み合わせ②の追衿目材4枚を幅はぎした場合について、構成の中に含まれる交互配置の数と反り率の関係を示した箱ひげ図である。箱の下端は第1四分位点、箱の中の横線は中央値、箱の上端は第3四分位点を表しており、箱の範囲にデータの中央50%が含まれている。ひげの下側末端は最小値、上側末端は最大値、○は外れ値（箱の上下端から箱の縦幅の1.5倍より遠いデータ）を表しており、×は平均値である。各プロットの上の数字は、箱ひげ図作成に用いたデータの数（幅はぎ構成の数）である。図3は、交互配置の数が多い

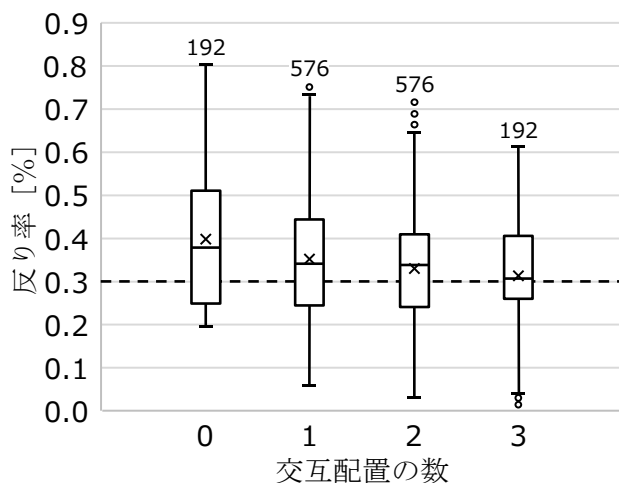


図3 幅はぎ構成の中の交互配置の数と反り率の関係（追衿目材4枚の場合）

ほど反り率が小さくなる傾向を示しており、これは、木表・木裏を交互に並べることで反りが生じにくくなる一般的な知見と一致している。しかしながら、交互配置の数が3の場合の反り率0.3%以下の構成は45%であり、木表・木裏を交互にするだけでは反りの対策として十分でないと考えられる。図4は図3と同様であるが、構成の中の平行配置の数に着目して反り率との関係を示したものである。平行配置の数が3の場合は全てが反り率0.3%以下であり、樹心方向が交わらない構成にすることでより大きな反り抑制が期待できることを示している。

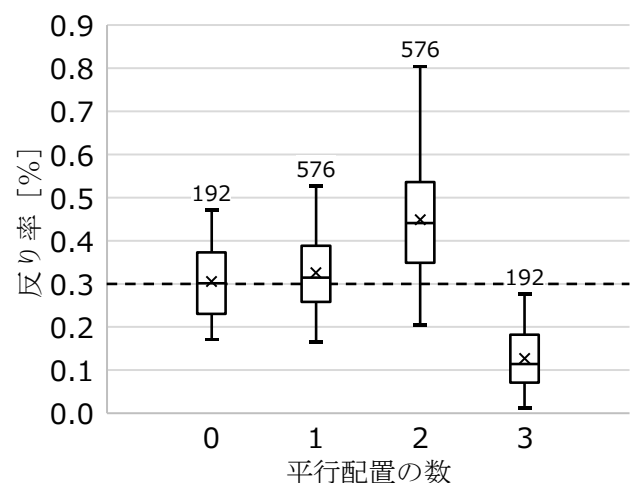


図4 幅はぎ構成の中の平行配置の数と反り率の関係（追衿目材4枚の場合）

### 3.3 板目材2枚・追衤目材2枚の幅はぎ板の場合

図5に、板材の組み合わせ③の板目材2枚・追衤目材2枚を幅はぎした場合について、構成の中に含まれる交互配置の数と反り率の関係を示す。先の図3と同様に、交互配置の数が多いほど反り率が小さくなる傾向を示しており、木表・木裏を全て交互に並べた交互配置の数が3の場合には、73%が反り率0.3%以下となっている。一方、図5と同様の関係を平行配置の数に着目して示した図6では、全ての構成を樹心方向が交わらないようにした平行配置の数が3の場合、93%が反り率0.3%以下である。このように、幅はぎ板の反り抑制を考える場合、木表・木裏を交互にするより、樹心方向が交わらないこ

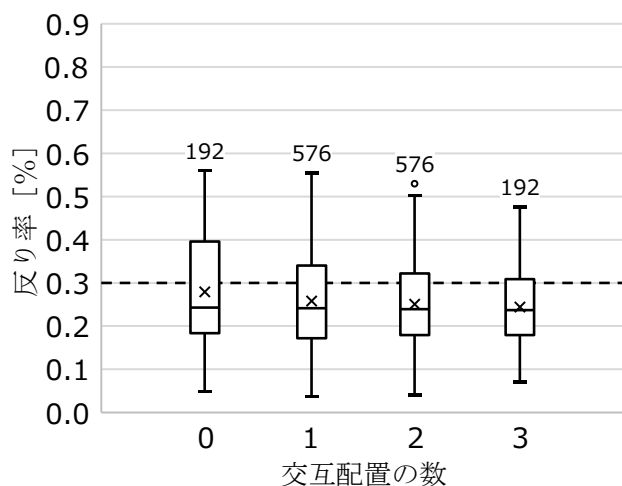


図5 幅はぎ構成の中の交互配置の数と反り率の関係（板目材2枚・追衤目材2枚の場合）

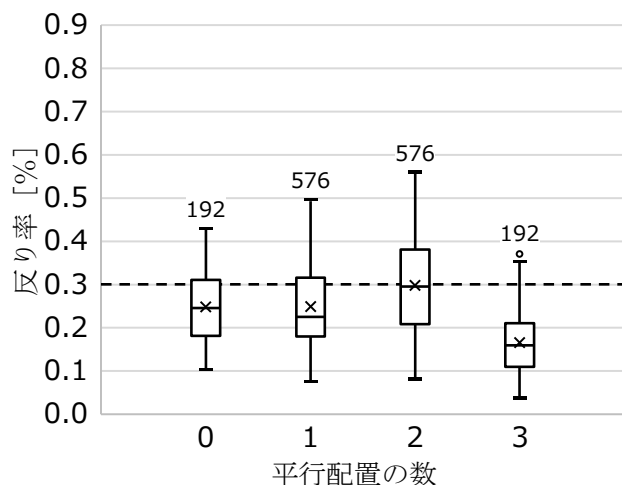


図6 幅はぎ構成の中の平行配置の数と反り率の関係（板目材2枚・追衤目材2枚の場合）

とを優先する方が効果的であると考えられる。

図2に示した隣接2材の関係性の中で幅はぎ板の反り抑制に最も効果的なものは、図5及び図6より、全ての構成が「平行・交互」の場合であることが分かる。しかし、実際の幅はぎ板の製作では、色味の良さを優先するなどの目的で木表を並べる構成にすることも少なくない。幅はぎ板で全て木表を並べる構成は、図5の交互配置の数が0の場合がそれにあたる。この場合について、平行配置の数と反り率の関係を示したものが図7である。平行配置の数が3の場合には83%が反り率0.3%以下であり、これは、色調を優先して全て連続配置で幅はぎ板を構成しても、全てを平行配置とする（図2、「平行・連続」）ことによって反りの危険性はかなり抑制できることを示している。

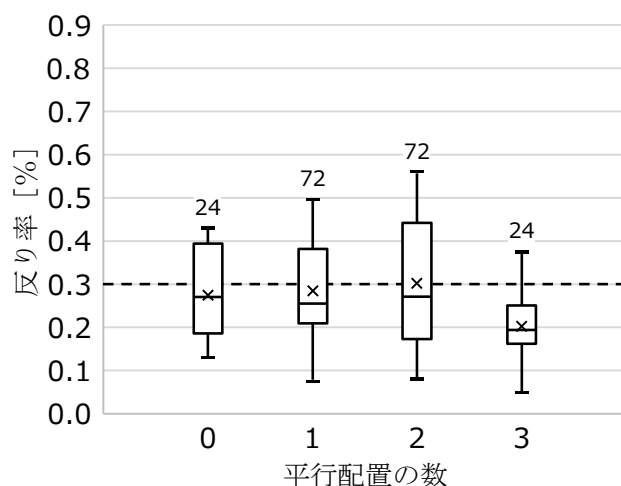


図7 幅はぎ構成の中の平行配置の数と反り率の関係（板目材2枚・追衤目材2枚を全て連続配置とした場合）

## 4. 結言

幅はぎ板の含水率変化による反り変形を小さく抑える技術を開発することを目的として、板材の年輪の特徴に着目した反り変形予測の手法を考案し、それを用いて板材4枚の幅はぎ板の構成の特徴と反り変形の大小との関係を検討した。その結果、板材断面の長手方向から $\pm 45^\circ$  または $\pm 135^\circ$  でおよその樹心方向を確認し、その方向が隣接2材で交わらないようにすることで、高い反り抑制の効果が得られることが示唆された。これは、反り対策として木表と木裏を交互に配置するよりも優先すべきと考えられた。

### 参考文献

- 1) 今西祐志：幅接ぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第1報）年輪に着目した幅接ぎ構成手法の提案，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 23，pp. 46-49，2021.
- 2) 今西祐志，沼澤洋子，清家麻奈未：幅はぎ板の反り変形抑制技術の開発に関する研究（第2報）年輪に着目した幅はぎ構成手法の妥当性確認，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 24，pp. 65-68，2022.
- 3) 農林水産省林業試験場 監修：木材工業ハンドブック 改訂3版，p187，丸善，1982.

# 地域材利用に向けた曲げ木工程条件の提示（第1報） 圧縮しわの低減について

石原智佳\*

## Presentation of the wood bending process conditions for use of local materials (I) Reduction of compression wrinkles

ISHIHARA Chika\*

既往研究において、飛騨地域の家具に利用されているブナ・ナラ・ホワイトオーク・ウォルナット等について曲げ木の加工条件を検討してきた。近年では、飛騨地域の家具にも地域産広葉樹や、ユリノキなどの早生樹を利用する動きが始まっている。これらの樹種のうちウォルナットとユリノキなどの曲げ木加工では、圧縮側にしわができやすいという課題があり、これについて検討を行った。

### 1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、「曲げ木」と呼ばれる、無垢材を曲げ加工した部材を用いる特徴がある。木材は水分を多く含んだ高温の状態になると、軟化して曲がりやすくなる。軟化処理としては、水蒸気で蒸す蒸煮法が一般的である。蒸煮後、帯鉄と呼ばれる金属板に固定してから曲げ型に沿って曲げ、乾燥により形状を固定する。

一連の研究<sup>1)~5)</sup>において、樹種によって曲げ木への適性が異なり、割れ・折れといった不良現象の原因も明らかになってきた。それに伴い、不良頻度も低減化してきた。

一方で、これまでの材料とは材質が異なってきたこと、また、異樹種への転換が必要になってきたことなど、材料面での変化が見られる。このような中、従来ではあまり見られなかった圧縮側のしわが増加傾向にあり、対策が急務となっている。

しわが多くできる樹種にウォルナットがある。この樹種は人気があり、長年利用されているが、密度の低下がしわの一要因であると考えられる。また、ユリノキなどの早生樹の利用も検討されているが、しわが懸念されている。

そこで、本研究では、曲げ木加工における圧縮しわの原因と対策を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 曲げ木における圧縮しわの再現試験

これまでも家具に利用されてきたウォルナットについて、近年、曲げ木加工において圧縮しわが発生しやすいことが家具製造現場で指摘されている。そこで、ウォルナットにおけるしわの発生を再現するため、厚さ5~20 mm×幅30 mm×長さ260 mmでの試験体を、150 mmの曲げ半径で曲げたときの材の圧縮しわの発生状況を目視観察した。蒸煮は蒸し器にて行い、蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

#### 2.2 低密度材（ユリノキ）の曲げ木

ユリノキは早生樹であることから家具への利用の動きがあるが、低密度であることから、曲げ木におけるしわの発生が懸念されている。そこで、低密度材としてユリノキの曲げ木を検討した。試験体の材情報を表1に示す。なお、寸法はいずれも厚さ10×幅30×長さ260 mmである。柾目材の場合、厚さが接線方向、板目材の場合、厚さが放射方向となる。これらを図1に示す曲げ半径150 mmの曲げ型にて曲げた。蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

#### 2.3 圧縮しわへの材厚さの影響

また、圧縮しわへの材厚さの影響を調べるため、厚さ15 mm及び5 mmのウォルナット材の曲げ木を行った。試験体の材情報を表2に示す。なお、幅30 mm

\* 試験研究部

と長さ260 mmは先のユリノキと同形状である。蒸煮時間は仕上がり含水率により調整した。

## 2.4 蒸煮材の縦圧縮試験

材が厚いほど、曲げ時に圧縮応力を受ける部分が増える。圧縮変形が破壊せずに進行することで、良好な曲げ木に仕上がることから、次に圧縮試験からの検討を行った。縦圧縮試験の試験体寸法は30×30×30 mmの立方体とした。JIS Z 2101：2009に準拠した試験体では、蒸煮材の場合、圧縮に伴い材が外へ膨らみ出ていく破壊が進行するが、荷重たわみ曲線から明確な破壊点を見極めることができないため、本試験では圧縮方向の長さを短くし、樹種及び、含水率・温度条件で比較しやすいよう工夫を行った。

表1 ユリノキ試験体の材情報

| No. | 木取 | 気乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 含水率<br>(%) | 蒸煮後<br>密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 蒸煮後<br>含水率<br>(%) |
|-----|----|------------------------------|------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1-1 | 柾目 | 0.48                         | 8.6        | 0.53                              | 18.9              |
| 1-2 | 板目 | 0.39                         | 8.2        | 0.44                              | 19.5              |
| 2-1 | 柾目 | 0.45                         | 8.8        | 0.53                              | 26.1              |
| 2-2 | 板目 | 0.41                         | 8.7        | 0.53                              | 38.5              |

表2 ウォルナット試験体の材情報

| No. | 木取 | 気乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 材厚<br>(mm) | 蒸煮後<br>密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 蒸煮後<br>含水率<br>(%) |
|-----|----|------------------------------|------------|-----------------------------------|-------------------|
| 1   | 柾目 | 0.53                         | 15         | 0.58                              | 17.8              |
| 2   | 柾目 | 0.54                         | 5          | 0.59                              | 17.1              |
| 3   | 柾目 | 0.55                         | 5          | 0.61                              | 18.4              |
| 4   | 柾目 | 0.56                         | 5          | 0.65                              | 21.2              |

## 3. 結果及び考察

### 3.1 曲げ木における圧縮しわの再現試験

ウォルナットの曲げ木におけるしわを図2に示す。こちらの材の密度は0.55 g/cm<sup>3</sup>であり、ウォルナットの中では低密度である。この材を厚さ20



図1 曲げ半径150 mmに曲げる様子

mm、曲げ半径150 mmで曲げた際の圧縮側のしわが顕著にみられた。なお、同形状のレッドオークの曲げ木では良好な曲げが可能であった。このことから、材が低密度であることがしわが発生する要因のひとつであることが示唆された。



図2 ウォルナット曲げ木の  
圧縮側しわ（曲げ半径135 mm）

### 3.2 低密度材（ユリノキ）の曲げ木

図3(a)から(d)にユリノキの曲げ木の仕上がりを示す。試験体1-1の柾目と試験体1-2の板目は、含水率を一般的な曲げ木を行う20 %程度に調整した。その結果、圧縮側にしわができた。この際の蒸煮後の試験体では、同程度の含水率であっても、気乾密度の影響で蒸煮後密度に大きな差があった。そこで蒸煮後の密度の効果を確かめるために、試験体2-1及び試験体2-2について、一般的な曲げ時の含水率より高くなるまで吸湿させて曲げ木を行なった。その結果、いずれも良好な仕上がりであった。試験体2-1及び2-2は、しわができた試験体1-1と蒸煮後の密度は同じであるが、含水率に大きな差がある。したがって、蒸煮後の密度が同程度であることよりも、蒸煮による含水率の増加率が仕上がりに影響することが推察された。

また、曲げ木の形状固定のために続いて行われる乾燥では、曲げ後の含水率が高いと、乾燥割れが生じてしまうことがしばしばあるが、本試験体のユリノキでは良好な乾燥が行えた。

この結果から、従来の曲げ木の前処理よりも高含水率にすることが、しわの抑制に効果的であることが考えられる。

3.3 圧縮しわへの材厚さの影響

ウォルナットの曲げ木は、いずれの試験体も材厚15 mmの場合に、図4に示すようにわずかなしわが生じた。これに対して、材厚5 mmのウォルナットの場合はいずれの試験体も良好な仕上がりとなった。引き続き実大材で同様の試験を行い検証する。

材が厚いほど、曲げ時に圧縮応力を受ける部分が増える。圧縮変形が破壊せずに進行することで、良好な曲げ木に仕上がることから、縦圧縮ヤング率が大きいほど圧縮しわが抑制されることが示唆された。



(a) 試験体1-1



(a') 図(a)のしわ拡大



(b) 試験体1-2



(b') 図(b)のしわ拡大



(c) 試験体2-1



(d) 試験体2-2

図3 ユリノキの曲げ木（曲げ半径150 mm）



図4 15 mm厚さのウォルナットの圧縮側しわ



図5 5 mm厚さのウォルナットの圧縮側

表3 試験体の各種情報

|              |                              | ブナ   | ナラ   | ホワイト<br>オーク | ウォル<br>ナット |
|--------------|------------------------------|------|------|-------------|------------|
| 気乾           | 含水率<br>(%)                   | 11.6 | 8.8  | 9.6         | 7.5        |
|              | 気乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.7  | 0.7  | 0.8         | 0.6        |
|              | 縦圧縮<br>ヤング係数<br>(GPa)        | 2.7  | 2.9  | 2.8         | 2.7        |
| 高含水率<br>(常温) | 含水率<br>(%)                   | 20.2 | 17.5 | 17.5        | 15.9       |
|              | 調湿密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.7  | 0.7  | 0.8         | 0.6        |
|              | 縦圧縮<br>ヤング係数<br>(GPa)        | 2.0  | 2.4  | 2.1         | 2.2        |
| 蒸煮直後<br>(高温) | 含水率<br>(%)                   | 19.8 | 17.0 | 18.8        | 17.2       |
|              | 気乾密度<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | 0.7  | 0.7  | 0.8         | 0.6        |
|              | 縦圧縮<br>ヤング係数<br>(GPa)        | 1.6  | 2.2  | 1.5         | 1.5        |



### 3.4 蒸煮材の縦圧縮試験

試験体の情報および縦圧縮ヤング係数の結果を表3に、また蒸煮直後の材の試験結果を図6に示す。表3より、気乾材よりも高含水率に調湿した材のほうが縦圧縮ヤング係数は低く、さらに、蒸煮直後で高温にある場合のほうがこの数値がさらに低下することが明らかである。また図6より、同程度のたわみ量に要する荷重がこれらの樹種のなかでは、ウォルナットが小さいことがわかる。このことから、曲げ木加工の際に圧縮応力がかかる領域において、圧縮つぶれにならない強さが必要と考えられる。圧縮強さとの関係については今後あらたに検討することとする。

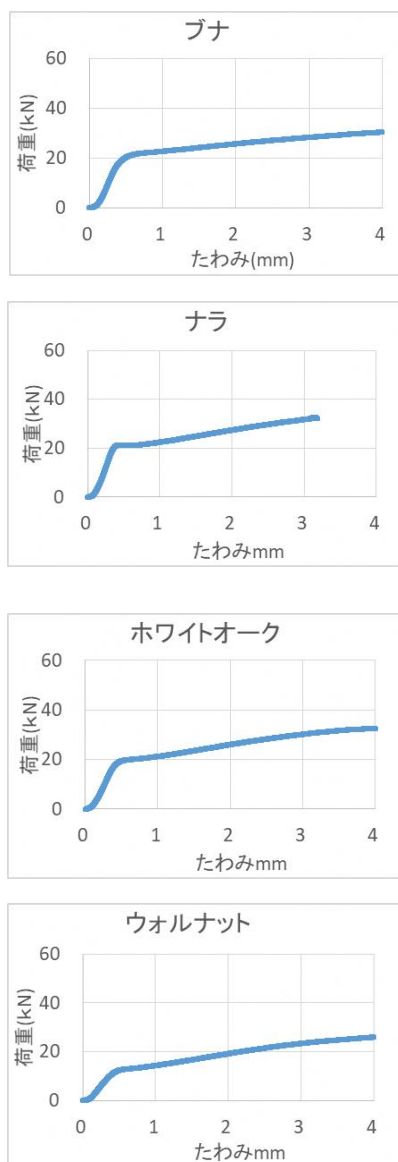


図6 蒸煮直後材の縦圧縮試験の結果

### 4. 曲げ木の可否判定プログラムからみた圧縮変形

既往の研究で作成した曲げ木の可否判定プログラム<sup>3)</sup>において、材厚さと曲げ半径及び帯鉄の金属や厚さの条件に基づき、曲げ木の中立軸の位置（材上部から中立軸までの距離[図7(a)の $t$ ]）を計算することができる。曲げ木の通直時の長さを $l_0$ とし、圧縮側は圧縮歪み（ $\varepsilon_c$ ）分だけ縮み、引張側は引張歪み（ $\varepsilon_t$ ）分だけ伸びる。ここの圧縮歪みを中立軸までの距離（ $t$ ）と曲げ半径（ $r$ ）で表すと次式(1)になる。

ここで、材厚30 mmのブナ板を2.0 mmのSUS製帯鉄で $r$  420 mmに曲げた場合、上述のプログラムで $t$  値が26.52 mmで、その結果として、 $\varepsilon_c$  は0.06と算出される。実大材の曲げ木の寸法測定値とも概ね一致し、曲げ木の条件から、良好な曲げ木に必要な圧縮量が推測できる。今後は、圧縮試験の結果から、曲げ加工で必要とする圧縮変形が可能で、しわが発生しない材質であるかを判断できるかについて検討する。

$$\varepsilon_c = \frac{t}{r+t} \quad \dots (1)$$

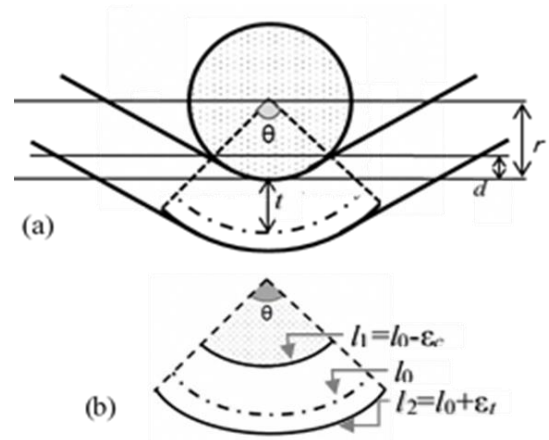


図7 曲げ木の形状の数式化

### 5. まとめ

木材の曲げ木加工において最近頻出の圧縮側のしわ不良について検討した。その結果、低密度な材質の場合、曲げ木の前処理である蒸煮時に、一般的な含水率よりも高い値まで水分を含有させて曲げることで、圧縮しわが低減できることが判明した。

### 参考文献

- 1) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 20、 pp. 9-11、2018.
- 2) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 21、 pp. 9-11、2019.
- 3) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 22、 pp. 8-11、2020.
- 4) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 23、 pp. 1-5、2021.
- 5) 石原智佳他、家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 24、 pp. 1-3、2022.

# 表面模様からの木材硬さ推定に関する研究（第1報） 画像解析による晩材率と木材硬さの関係

関範雄\*, 藤巻吾朗\*, 山口穂高\*, 三井勝也\*

## Estimation of Wood Hardness by Its Surface Pattern (I) Wood Hardness Related to Proportion of Latewood by Image Analysis of Ring Structure

SEKI Norio\*, FUJIMAKI Goroh\*, YAMAGUCHI Hodaka\*, MITSUI Katsuya\*

スギ材の木口面を表面観察して得られる年輪構造指標と木口面のブリネル表面硬さおよび密度との関係を検討した。木材密度とその表面硬さには比例関係が認められた。また、年輪の構造指標である晩材率、特に赤外線カメラを用いて観察される木口面の像を解析して得られた全体に占める晩材の面積割合には、密度との直線的な正の相関が確認され、同様に木口面のブリネル表面硬さとの相関関係が認められた。

### 1. 緒言

木材の木目模様、年輪は同じものではなく、その個体の別に限らず、部位や場所、また樹木の成長環境、季節ごとに変化し、その表情は異なる。このような木材の個性は、材料として特性の不均一をもたらしている。一方で表面模様は人工に規格されたものではないため、木製品を使う人たちに非工業的な自然有機的な温かさを与え、人々を魅了する一因になっている。

このような木材の不均一性は厄介な特徴である。木材を工業材料として利用する場合、木製品製造現場においてその機械特性は、木材の種類と木目模様から人の経験的判断に頼り評価されることが多い。つまり木製品は、金属やプラスチックなどに比べてばらつきが大きいにもかかわらず、その部材の特性判断は製品の作り手の経験と感覚に大きく依存する。そのため作られる木製品は時に選別部材の強度不足から不良が生じやすく、また製造過程における不良率も高くなると思われる。

品質良く、使う人を魅了する木製品を作るためには、この世に一つとして同じものはない木材の模様や表情を的確に捉え、機械特性を確度良く推定し、部材を適切な箇所に利用することが重要である。また木材の模様や表情を捉えることは、木材

の無駄ない合理的な利用、木製品製造の生産性向上に繋がると考えられる。

本研究では、木材表面の情報から材料物性の簡易推定の可能性を探索している。その一環として本報では木材表面観察を通して得られる表面模様や年輪構造指標と木材の硬さとの関係について報告する。

### 2. 実験

#### 2.1 材料

試験体にはスギ(*Cryptomeria japonica*)を用い、表面観察および硬さの試験体寸法は図1に示すよ

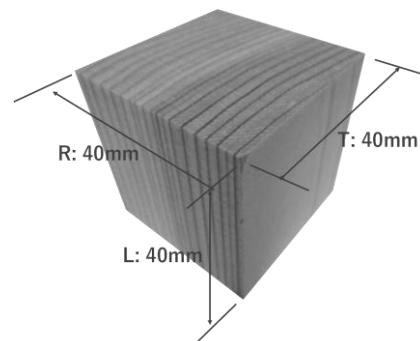


図1 試験体

\* 試験研究部

うに40mm (T) × 40mm (R) × 40mm (L) とした。

試験体を温度20℃、湿度65%RHの雰囲気下に放置し、標準状態に調湿した後、各種測定に用いた。

## 2.2 表面観察

### 2.2.1 可視光観察

デジタルマイクロスコープ（株式会社キーエンス製、型式：VHX-7000）およびレンズ（株式会社キーエンス製、型式：VX-Z00R）を用い、レンズに付属する可視光リング照明、落射、倍率5倍の条件にて観察および撮影を行った。

### 2.2.2 赤外線観察

赤外線カメラ（リコーイメージング株式会社製 PENTAX KP IR、型式：P-TTLフラッシュ内蔵TTL AE・AF一眼レフデジタルカメラ）およびレンズ（リコーイメージング株式会社製マクロレンズ、型式：HD PENTAX-DA 35mmF2.8 MACRO Limited）を用い、LED赤外線照明（ホーザン株式会社製、型式：L-709、波長域：940～960nm（ $\lambda_{MAX}$ :950nm））下にて観察および撮影を行った。

## 2.3 晩材率の測定

### 2.3.1 可視光観察による晩材率測定

可視光観察によって撮影された試験体の木口面の画像に、年輪に直角な任意の直線を3本引いた。1本の直線上の完全年輪から1年輪毎の年輪幅と晩材の幅を目視観察により測定し、1年輪幅に占める晩材の幅を晩材率（ $LWP_{VIS}$ ）として算出した。

木口面上の年輪に直角な3本の直線から求めた

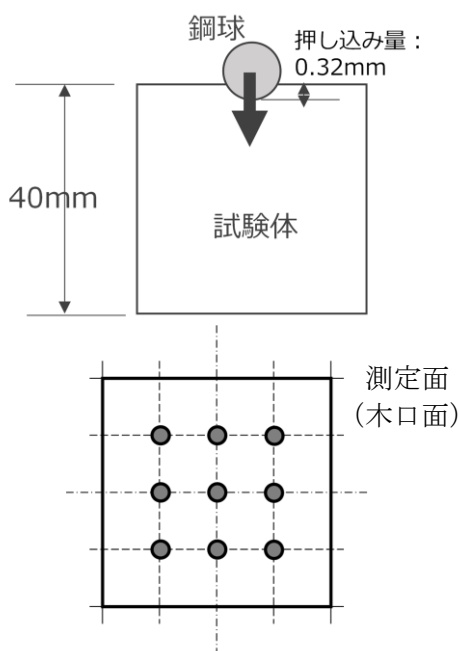


図2 ブリネル硬さ測定と測定箇所

すべての晩材率の平均値をその木口面の平均晩材率とした。

### 2.3.2 赤外線観察による晩材率測定

赤外線観察によって撮影された試験体木口面の像から晩材率測定は、オープンソースのコンピュータビジョン向けOpenCV 4.X系例ライブラリの画像処理機能を応用して行った。

赤外線観察によって撮影された256階調グレースケール画像に変換後、試験体の早材部と晩材部のしきい値を決定するための演算処理を行った。具体的にはグレースケール画像の局所領域の中央値をしきい値とする適応的しきい値演算処理を行った。その後、それぞれの局所領域で演算して決定したしきい値に基づきグレースケール画像を白黒2階調画像に変換した。さらに白黒2階調画像から、モルフォロジー演算によりノイズ除去を行い、晩材部を抽出し晩材面積を求めた。晩材面積の全体像に占める割合を算出、これを晩材率（ $LWP_{IR}$ ）とした。

## 2.4 密度の測定

JIS Z2101<sup>1)</sup>の方法に従い標準状態の試験体の質量および容積を測定し、密度を算出した。

## 2.5 硬さの測定

標準状態の試験体の木口面を測定面として、図2に示すJIS Z2101の方法に従い測定した。測定面の規定の9箇所（直径10mm）を深さ1/π mm（0.32mm）まで圧入したときの荷重P（N）を測定し、各測定箇所のブリネル硬さは次式から算出した。

$$\text{ブリネル硬さ} = P/10 \quad (N)$$

木口面のブリネル硬さは、規定測定箇所の平均値を求めた。

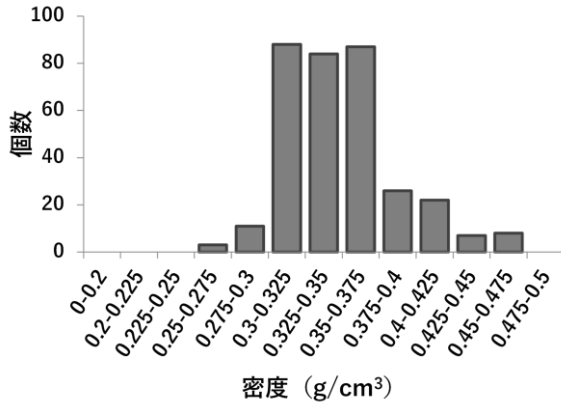
## 3. 結果と考察

### 3.1 木材の物理特性と機械強度との関係

#### 3.1.1 密度

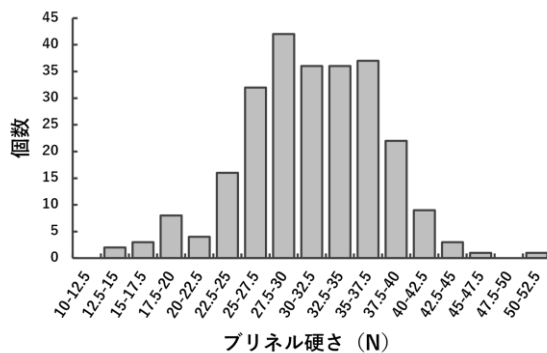
試験体全体の密度分布を図3に示す。全試験体の密度の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.349 g/cm<sup>3</sup>、0.002 g/cm<sup>3</sup>、0.346 g/cm<sup>3</sup>であった。本実験で用いた試験体は、スギ材の一般的な密度分布の特徴を示した<sup>2, 3, 4, 5)</sup>。

この結果から木材は同じ材種であってもその密度、物理特性は、一様ではなく広い範囲でばらつき、他の工業材料と比べて不均一であることがわかる。



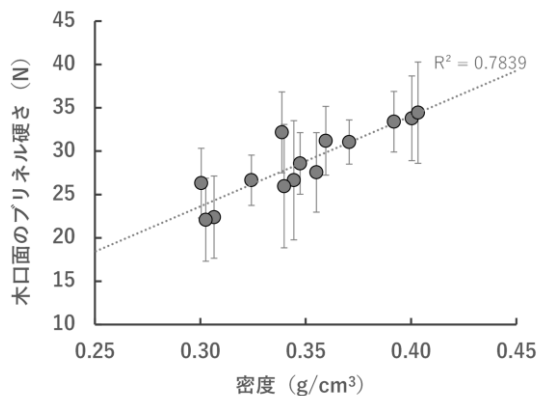
条件：材種；スギ、温度；20℃、湿度；65%RH

図3 密度とその分布



条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；252

図4 ブリネル硬さとその分布

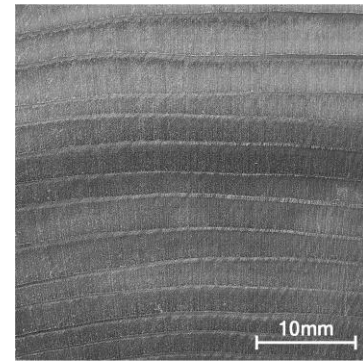


条件：材種；スギ、試験体；14

図5 密度と表面硬さの関係

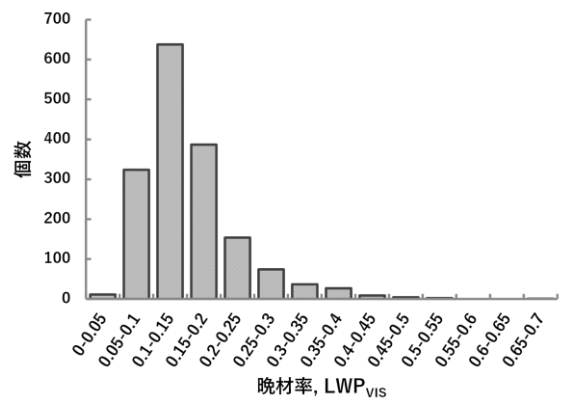
### 3.1.2 表面硬さ

木口面全測定箇所のブリネル硬さを図4に示す。ブリネル硬さの平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ28.7 N、0.38 N、29.0 Nであった。木材表面硬さは、一様ではなく広い範囲でばらつき、不均一で



材種；スギ

図6 可視光による木口表面画像  
(256階調グレースケール画像)



条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；1668

図7 晩材率 (LWP<sub>VIS</sub>) とその分布

ある。

### 3.1.3 木材の密度と表面硬さの関係

試験体の密度と木口面の表面ブリネル硬さの関係は、図5に示すように比例関係（相関係数、 $R^2$ ：0.78）が認められた。木材の密度やその表面硬さは不均一ではあるが、互いに相関してばらつき、密度の高い箇所や部分は、表面硬さが高いことがわかる。

## 3.2 木材表面模様と年輪構造

### 3.2.1 可視光観察から得られる晩材率

可視光観察において撮影した試験体の木口表面模様を図6に示す。木口表面には心材部や辺材部が現れ、模様は複雑化したが、1年輪毎の年輪構造、年輪幅、早材、晩材を目視にて容易に観察することができた。

可視光観察から目視にて測定して得られた晩材率 (LWP<sub>VIS</sub>) を図7に示す。LWP<sub>VIS</sub>の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.154、0.002、0.137であ

った。また、全試験体の平均年輪幅は2.20 mm、平均年輪密度（年輪に直角な直線に含まれる直線単位長さ当たりの年輪数）は5.2 輪/cmであった。

### 3.2.2 赤外線観察から得られる晩材率

図8に赤外線観察にて撮影した試験体の木口表面模様（256階調グレースケール画像）、表面模様から晩材を強調最適化した白黒2階調変換画像、白黒2階調画像から晩材部を抽出した後の結果画像を示す。赤外線観察では、可視光観察にあったような心材部や辺材部は現れず、よりシンプルに年輪構造を観察することができた。これにより観察面の画像処理で年輪構造を抽出することが可能になり、その指標を求めることができた。

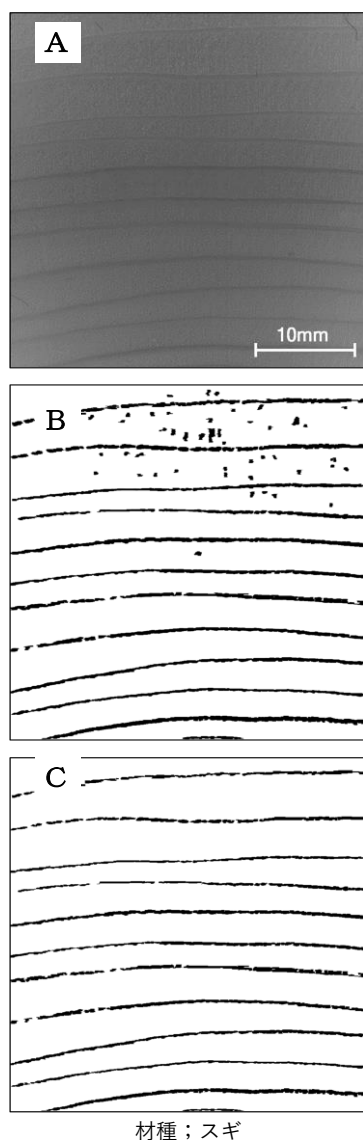
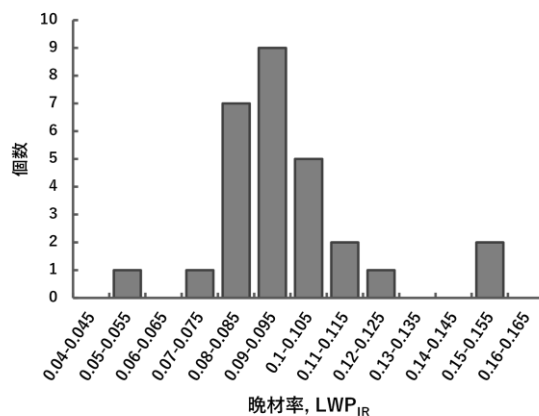


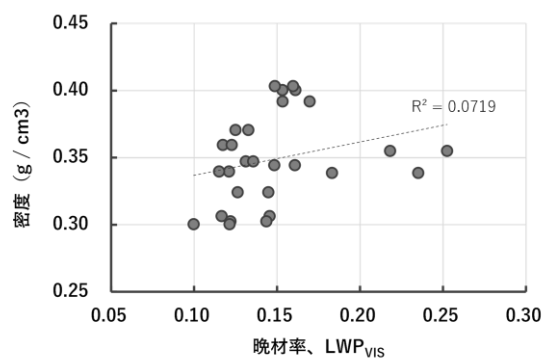
図8 赤外線による木口表面観察画像（A、256階調グレースケール画像）、白黒2階調変換画像（B）、晩材抽出結果画像（C）

赤外線観察面の白黒2階調変換画像から晩材を抽出し、画像全体の面積に占める晩材面積の割合から求めた晩材率（ $LWP_{IR}$ ）を図9に示す。 $LWP_{IR}$ の平均値、標準誤差、中央値は、それぞれ0.089、0.004、0.085であった。



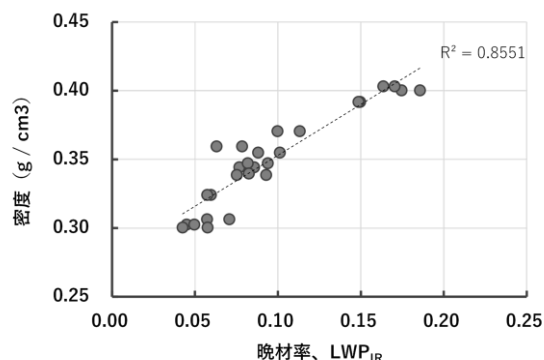
条件：材種；スギ、試験体；14、測定個数；1668

図9 晩材率（ $LWP_{IR}$ ）とその分布



条件：材種；スギ、試験体；14

図10 晩材率（ $LWP_{VIS}$ ）と密度の関係



条件：材種；スギ、試験体；14

図11 晩材率（ $LWP_{IR}$ ）と密度の関係



### 3.3 木材表面模様と物理特性との関係

#### 3.3.1 晩材率と密度の関係

可視光観察から得られた晩材率、 $LWP_{VIS}$ と密度の関係を図10に示す。 $LWP_{VIS}$ と密度との相関関係（相関係数、 $R^2: 0.07$ ）は認められなかった。一方、赤外線観察から得られた晩材率、 $LWP_{IR}$ と密度との間には、図11に示す強い比例関係（相関係数、 $R^2: 0.86$ ）が認められた。

軟X線デンストメトリー法によると成長の遅い晩材の比重は成長の早い早材より著しく大きく、晩材比重は多くの材種について早材の2~3倍である<sup>6, 7)</sup>。このことから今回の晩材率と密度の間には高い相関があると予測した。しかし、 $LWP_{VIS}$ と密度にはその相関が示されなかった。これは、一年輪における成長、円状の年輪模様または年輪構造はすべての箇所均一であるとの仮定の下、木口面のわずかな数本の直線上に存在する年輪構造から $LWP_{VIS}$ が測定されたため、また直線上の1年輪幅に占める晩材幅の比率としての $LWP_{VIS}$ は材全体の晩材率としての確度が低いからであるといえる。

一方、 $LWP_{IR}$ は、年輪構造を面全体で捉え木口観察面積に占める晩材面積の割合であることから、材全体における真の晩材率に近づき、密度との相関性が示されたといえる。

#### 3.3.2 晩材率と表面硬さの関係

$LWP_{VIS}$ が表面硬さに及ぼす影響は、図10に示した $LWP_{VIS}$ と密度との低い相関性と同様、相当に小さかった。この結果は、可視光観察ではすべての試験体に相当数の種々の模様情報が含まれ、目視計測で得られる年輪幅や晩材率 $LWP_{VIS}$ の年輪構造指標は断片的な情報になりやすく、またこれらの指標が表面硬さや強度特性に及ぼす影響は密度に比べて小

さいことを示唆した。

一方、赤外線観察から得られた $LWP_{IR}$ と木口表面のブリネル硬さは、図12に示すように比例関係（相関係数、 $R^2: 0.65$ ）が認められた。これは、図5に示した木材密度と木口面の表面ブリネル硬さの関係と同様であり、試験体間における晩材率 $LWP_{IR}$ の差異は表面硬さの差異となって現われた。この結果は、年輪構造を面全体で捉えた指標である $LWP_{IR}$ が表面硬さや強度特性に及ぼす影響は密度同様に高いことを示した。

### 4. まとめ

スギ材の木口面を表面観察して得られる年輪構造指標と木口面のブリネル表面硬さおよび密度との関係を検討した。

木材密度と木口面のブリネル表面硬さは正の高い相関関係にあった。

従来の可視光木口表面観察から得られる年輪構造指標である晩材率 $LWP_{VIS}$ と木材密度の間には相関関係は確認できなかった。一方、赤外線木口表面観察では、年輪構造をよりシンプルに観察することができ、観察面全体からすべての晩材面積を的確に抽出することができた。この抽出した晩材面積から算出した晩材率 $LWP_{IR}$ は、木材密度と強い比例関係（相関係数、 $R^2: 0.86$ ）にあり、 $LWP_{IR}$ が木口面のブリネル表面硬さに及ぼす影響は相関して大きいことが見出された。

### 参考文献

- 1) JIS Z 2101: 木材の試験方法, 日本工業規格, 2009.
- 2) 農林水産省林業試験場監修: 木材の性質. 改訂3版 木材工業ハンドブック, 木材工業ハンドブック編集委員会編, 丸善, 東京, 1982, pp. 55-214
- 3) 加納孟: 木材の比重、年輪構成の変動, 材料, 12 (121), pp. 684-688, 1963
- 4) 角谷和男: 木材の強度のばらつき, 材料, 12 (121), pp. 718-721, 1963
- 5) 藤原健: 木材の密度について, 海外の森林と林業, 90, pp. 37-39, 2014
- 6) 林弘也ほか: 軟X線による木材の密度測定, 九州大学農学部附属演習林演習林集報, 26, pp. 127-139, 1976.
- 7) 飯島泰男: シベリア産カラマツ材の強度性能に関する研究, 富山県林業試験場研究報告, 1, pp. 1-37, 1983.

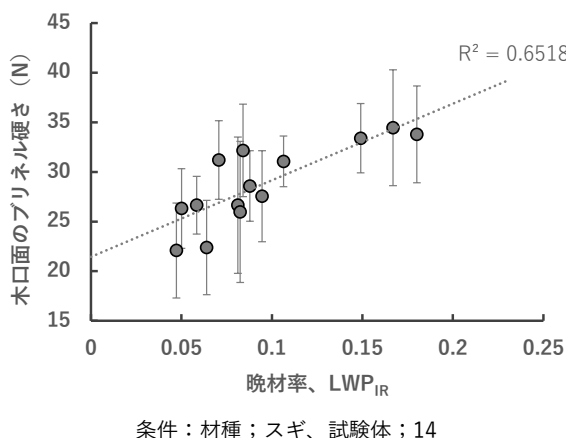


図12 晩材率（ $LWP_{IR}$ ）と表面硬さの関係

## 小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第1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 ( I )

MURATA Akihiro\*, HASEGAWA Ryoichi\*, HIROSHI Imanisi\*, NUMAZAWA Youko\*

国内広葉樹を家具・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。対象樹種として環孔材であるコナラとセンダンについて、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、異樹種接着の接着力について、通常（大径）材と小径材の違いなど評価した。また、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。その結果、異樹種接着集成板については、接着層の剥離は見られず良好な接着性能を示した。しかし、一部の樹種で木口割れが発生した。また、通常材と小径材の接着力の違いは見られなかった。地域材の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。

#### 1. 緒言

これまで木製家具や内装材の原料である広葉樹材は、その8割近くを輸入材に依存してきた。近年、世界的な資源減少や新興国の購買力の向上に加えて、ウッドショックやウクライナ情勢の影響により、輸入広葉樹材の流通量や価格は不安定に変動している。このため、国内資源への転換が模索され、前年度まで早生樹材の用材利用に向けた基盤的研究<sup>1)</sup>を進めてきた。早生樹材の現状は過去に植栽された天然林木が多く、計画的に植林された人工林伐採木が少ないため、材質にばらつきがあり今後利用していく上での材質の把握が十分できないことがわかった。

一方、国内には活用が進んでいない多種多様な広葉樹資源が存在するが、材質・物理特性、加工性に関するデータが未整備である。また、それら国産広葉樹材の製品製造に必要な塗装、接着、曲木加工に関する技術も、現在の工場設備等に合わせて確立する必要がある。このため、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、国内の家具・内装材

製造業において原料として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研究・整備機構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を令和4年度より行っている。本報では小径広葉樹の利用技術について記す。

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樹種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。

#### 2. 実験方法

本研究プロジェクトで対象樹種とした4樹種のうちコナラとセンダンについて、小径丸太由来の板材（図1）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、コナラとセンダンを交互に接着し異樹種板を製作した。ラミナ

\* 試験研究部

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。

また、コナラとセンダンの接着力について、通常（大径）材と小径材の違い、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。さらに、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組の異樹種材接着による接着力評価を行った。

## 2.1 供試材料

今年度は対象樹種とした4樹種のうちコナラとセンダンを用いた。試験材は、小丸太径18～26cmのコナラ（岐阜県産材）とセンダン（福岡県産材）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、後述する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。



図1 使用材料（左：コナラ、右：センダン）

## 2.2 異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。板材の含水率は、コナラ材は平均12.8%、センダンは10.9%であった。異樹種接着は、上述の板材のコナラとセンダンを交互に接着し、異樹種集成板を5枚作製した（表1、図2参照）。水性高分子イソシアネート型接着剤 [PIボンド TP-111・H-3Mコニシ製] 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、表1に示す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。

表1 異樹種集成接着試験体の構成

| 試験体名  | 材巾    | 枚数 | コナラ+センダンを交互に接着 |
|-------|-------|----|----------------|
| 100-1 | 100mm | 3  | コナラ+センダン+コナラ   |
| 100-2 | 100mm | 3  | センダン+コナラ+センダン  |
| 75    | 75mm  | 4  | (コナラ+センダン) × 2 |
| 50    | 50mm  | 6  | (コナラ+センダン) × 3 |
| 25    | 25mm  | 12 | (コナラ+センダン) × 6 |



図2 異樹種集成接着試験体

## 2.3 接着層のせん断強度試験

コナラとセンダンの接着層の試験は、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

### 2.4.1 対象樹種以外の有用小径産広葉樹の選定

飛騨市広葉樹活用推進コンソーシアム（協力機関）における聞き取り調査を実施した。その結果を表2に示す。26種類の樹種の中で、搬出量の期待される樹種は、ミズナラ、コナラ、ブナ、ホオノキ、クリ、シラカバ、ミズメ、トチノキ、イタヤカエデの9樹種であった。そこで今回は、コナラ、ホオノキに加え、材入手の観点から、クリ、クルミ、ウダイカンバ、ミズメ、ヤマザクラ、セン、トチノキ、ケヤキを選定し、異樹種接着を試み、接着の不具合を確認した。

### 2.4.2 小径広葉樹等の人工乾燥試験

飛騨地域から産出された広葉樹丸太を対象に、板目材を製材し、初期乾球温度48℃とした低温スケジュールを用い、製材後の材に対して人工乾燥を実施し、目標含水率8%の材を調製した。その際樹種毎の割れ、反り変形量を計測した。

飛騨市広葉樹活用推進コンソーシアムにおける人工乾燥プロジェクトにおいて、図3に示す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の検証を実施した。

表2 令和4年に飛騨市から産出される木材樹種

|        |          |         |        |
|--------|----------|---------|--------|
| アズキナシ  | イタヤカエデ   | イヌシデ    | ウダイカンバ |
| ウリハカエデ | ウミズザクラ   | オニグルミ   | クマシデ   |
| クリ     | ケヤキ      | ケンボナシ   | コシアブラ  |
| コナラ    | コハウチワカエデ | シナノキ    | シラカンバ  |
| セン     | トチノキ     | ハウチワカエデ | ハンノキ   |
| ブナ     | ホオノキ     | ミズキ     | ミズナラ   |
| ミズメ    | ヤマザクラ    |         |        |



図3 低温乾燥システム

### 3. 結果と考察

#### 3.1 異樹種集成板材の反り、変形

図4に示すように、異樹種集成板材については、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、小割（ラミナ幅を狭く）にするほど変形量などの変形が少なくなると想定していたが、幅25mmでは変化が少ないものの50mm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。今後試験体数を増やすなどの検討が必要である。一方、外観の観察では、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つた。このため、次年度は熱プレスによる割れ防止技術を試みる予定である。

今回の湿度変化に伴う促進試験では、平衡含水率が5.5%⇔19%となるよう48時間毎に湿度を変化させたが、20mmの厚みがある木製天板だと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る。今後、温湿度条件、時間を検討し促進試験を実施したい。

#### 3.2 同樹種・異樹種接着性能評価

接着性能試験結果を表3に示す。このように環孔材であるコナラ、センダンの同樹種・異樹種接着

性能試験では、通常材（大径）材と比較し、小径材も木部破断率は90%以上、せん断接着強さは約10MPa以上であり小径材であることに由来する問題はなかった。また、使用した高周波コンパクト接着機は木材の短時間接着に有効であることを確認した。一方、耐水試験では木部破断率が30%まで低下した。接着層で破壊しており、接着剤の耐水性能に起因するものと判断された。

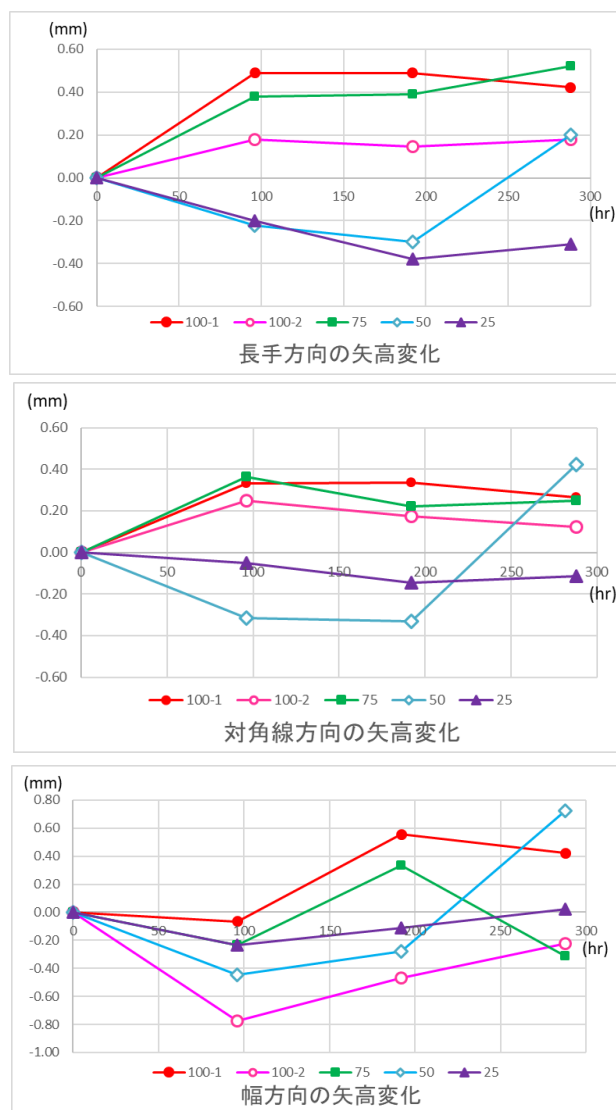


図4 環境に伴う矢高（反り）の変化  
（上より、幅方向、長手方向、対角線方向）

#### 3.3 飛騨地域の広葉樹種による異樹種接着の性能評価

今回は、コナラ、ホオノキに加え、材入手の観点から、クリ、クルミ、ウダイカンバ、ミズメ、ヤマザクラ、セン、トチノキ、ケヤキを選定し、異樹種

接着を試み、接着の不具合を確認した。評価結果を表4、図4、図5に示す。今回実施した異樹種接着において、コナラ・センダンを含め、7組の異種材接着において、木部破断率は70%以上、せん断接着強さは11MPa以上であり異樹種であることに由来する問題はなかった。

表3 同樹種・異樹種接着性能評価結果

| 樹 種                           | 構 成 | 径 級 | 接着強さ<br>[MPa] | 木部破断率<br>[%] |
|-------------------------------|-----|-----|---------------|--------------|
| 常態試験 [20℃, 50%RH]             |     |     |               |              |
| 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          | 90           |
| センダン×センダン                     | 同樹種 |     | 9.9           | 90           |
| コナラ×コナラ                       | 同樹種 |     | 16.5          | 95           |
| 耐温水試験 [60℃温水3Hrs浸漬、放冷後wetで試験] |     |     |               |              |
| コナラ×センダン                      | 異樹種 | 小径材 | 7.0           | 30           |

※ 異樹種はセンダン部で木部破断

表4 異樹種接着による接着強さのまとめ

| 樹 種 |        | 接着強さ<br>(MPa) | 木部<br>破断率 | 異樹種接着<br>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               |

### 3.4 小径広葉樹等の人工乾燥試験

表5に6回実施した乾燥試験の結果を示す。乾燥試験No. 1、5は、ブナ材のみの乾燥であるが、他は、5樹種以上の混合状態で乾燥を実施した。各樹種のモニター材の経過重量を計測し、乾燥スケジュールを切り替えた。初期含水率や製材厚など一定でないため、乾燥日数は、最短で20日間、最長で48日間であった。一部、ブナ材とクリ材において高い含水率もあったが、平均の仕上げ含水率は目標とした含水率 $8 \pm 2\%$ に仕上がった。材の長さ方向、厚さ方向における含水率ムラは少なかった。また、複数の樹種を同時に乾燥したが、調湿処理により過乾燥にならずに仕上がった。外観の目視検査では、片方の木口で割れは最小34mm、最大284mmであり、カップ反り平均0.8~1.8mmであった。今後は歩止まり向上のため、初期蒸煮による欠

点発生を減少させる対策や乾燥時間の短縮を検討して行きたい<sup>2)</sup>。

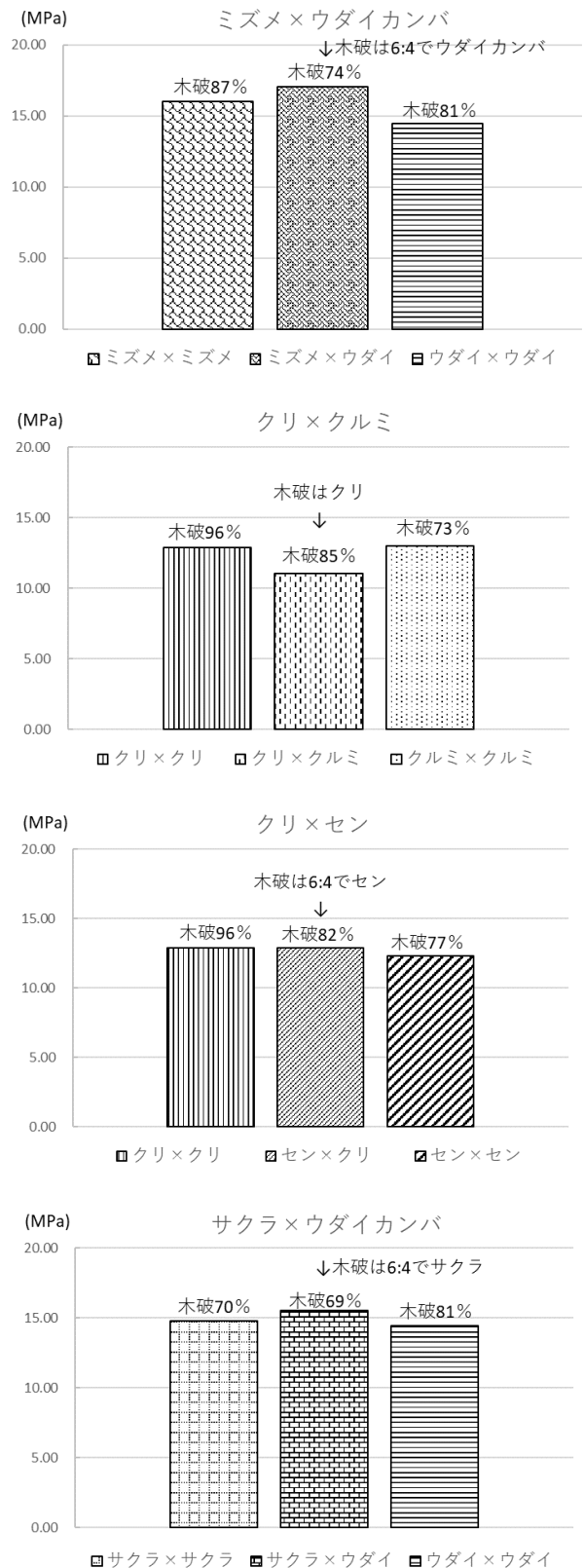


図5 飛騨地域材の異樹種接着の性能評価1

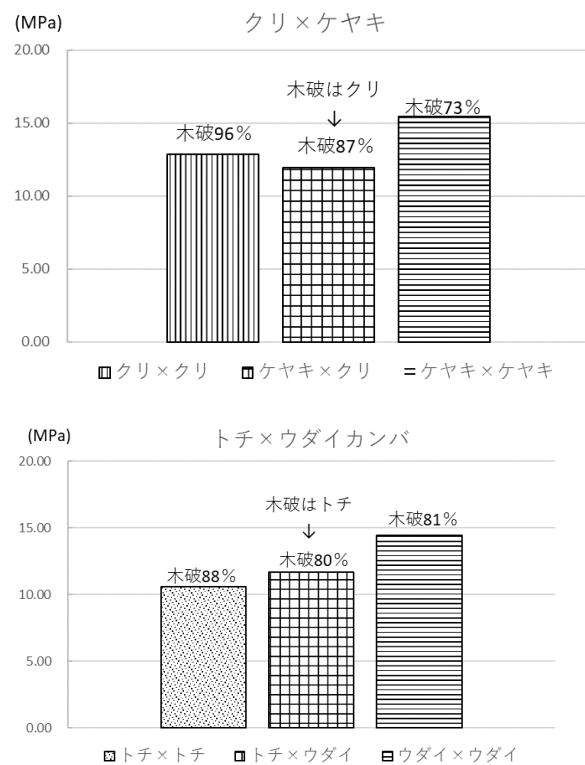


図6 飛騨地域材の異樹種接着の性能評価 2

表5 飛騨地域小径広葉樹材の人工乾燥試験結果

| 乾燥試験No.    |                | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
|------------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 所要時間       | days           | 38   | 30   | 34   | 47   | 20   | 24   |
|            | hrs            | 13   | 19   | 15   | 13   | 0.5  | 19   |
| 乾燥材積       | m <sup>3</sup> | 4.2  | 5.1  | 4.1  | 4.9  | 6.2  | 5.3  |
| 含水率平均      | %              | 7.5  | 10.5 | 9.2  | 8.8  | 8.7  | 9.4  |
| 木口割れ平均 (左) | mm             | 230  | 41   | 81   | 69   | 39   | 84   |
| 木口割れ平均 (右) | mm             | 284  | 34   | 99   | 50   | 54   | 120  |
| 有効長        | %              | 71.6 | 91.6 | 86.9 | 91.1 | 91.7 | 87.3 |
| カップ反り平均    | mm             | 1.8  | 1.1  | 0.9  | 0.8  | 0.7  | 0.8  |
| 乾燥樹種       | 樹種             | ブナのみ | 5種以上 | 5種以上 | 5種以上 | ブナのみ | 5種以上 |

4. まとめ

小径広葉樹を有効に利用するために、センダン、コナラについて異樹種間の接着を試み、家具・内装材の原料として利用できるかどうかを検証した。

また、飛騨地域から産出される小径広葉樹材についても異樹種接着を試み利用可能かどうかの適性を検証した。

1) 環孔材であるコナラ、センダンについては、異樹種集成接着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、通常材と比較し、小径材は問題なく利用可能であることがわかった。

- 2) 飛騨地域から産出された小径広葉樹材についても、8樹種6組の異樹種接着では接着力には問題がないことから、今後、地域材による異樹種集成板材の反り変化などを調べる予定である。
- 3) 飛騨地域産広葉樹材の低温乾燥について、一部に木口割れなどの問題が発生したが良好に乾燥することができた。(日本木材学会発表 令和5年3月)<sup>2)</sup>

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、70%以上の木部破断率を示し接着できていることから接着強度は問題がなく家具・内装材として利用できることがわかった。

謝辞

本研究は、令和4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)【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ある。また、地域材の乾燥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との共同研究で実施したものである。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：国産早生樹の用材利用に向けた材質・加工特性の解明（第3報），岐阜県生活技術研究所研究報告，24，pp. 55-60，2022
- 2) 長谷川良一他：第73回日本木材学会大会要旨，2023



令和4年度 岐阜県生活技術研究所研究報告

No. 25 2023

令和5年9月発行

編集・発行者 岐阜県生活技術研究所

〒506-0058

岐阜県高山市山田町 1554 番地

TEL 〈0577〉 33-5252

FAX 〈0577〉 33-0747

印刷 有限会社 大六印刷