

ISSN 1344-896X

令和 6 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.27

2025

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7報） 一対比較を用いた厚みの異なる無垢材の印象評価 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4報） 5軸CNC加工機による3次元加工の優位性 成瀬哲哉	6
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4報） 視覚情報によるクッション製品の触感の伝達 藤巻吾朗，山口穂高	10
構造解析を用いた椅子設計による効率と自由度の向上に関する研究（第1報） ASME V&V 40に基づくサブアセンブリを用いた接合部評価方法の提案 森茂智彦，松井和己，山田貴博	16
オーク突板化粧材の変色抑制技術の開発 ソルビン酸を用いた変色抑制 伊藤国億	20
曲げ木加工後の曲げ戻りと過進行の原因解明及び対策に関する研究 石原智佳	24
小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第3報） 国産広葉樹の異樹種集成板の寸法安定性と表面硬さ及び表層PETラミネート加工の効果 今西祐志，足立隆浩，長谷川良一，沼澤洋子	28
超音波伝播法による木材の非破壊評価（第2報） 今西祐志	32
飛騨地域家具製造業向けの木材データベースの構築（第2報） 足立隆浩，沼澤洋子	36

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7報） 一対比較を用いた厚みの異なる無垢材の印象評価

山口穂高^{*1}，藤巻吾朗^{*2}

Development of Communication Method Presenting Wooden Visual Textures and Application for Furniture (VII) Impression Evaluation for Solid Wood with Different Thickness by Paired Comparison

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

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。前報では、無垢材らしい印象の解明を目的として、厚みの異なる無垢材サンプルの印象評価を実施したが、表面的な観察・触察では、厚みの違いを評価することが難しいことが示唆された。そこで本報では、一対比較を用いて、より詳細に無垢材の厚みの違いが印象に与える影響を調査した。その結果、厚みが増すほどに自然な印象や重厚な感じが増していくとは言えず、表面的な観察では無垢材らしい印象に無垢材部分の厚みはほとんど影響を与えないことが示唆された。この結果は前報と同様であり、無垢材らしい印象の伝達には、木口・木端の視認や、重量感などの他の情報が必要であると考えられる。

1. 緒言

近年は、消費者が製品を購入する際に、その情報をインターネット上で検索することが多く、画像情報で製品の質感を如何に伝達するかが重要となっている。特に無垢材を用いた製品では無垢材の自然さや重厚感が訴求されやすいため、無垢材らしい印象を解明し、無垢材ならではの質感を画面越しに伝達するための知見が望まれている。

前報¹⁾では、同じ個体から厚みの異なる薄板を切り出してMDFに貼付したサンプルを調整し、それらの印象をSD法で調査した。仮説「木材の厚みが増すほどに印象が良くなり、ある値で飽和する」を検証した結果、無垢材の厚みの違いが視覚的・触覚的な印象に与える影響は明確には現れず、平面的な対象物の視覚情報と触覚情報から厚みの違い、すなわち「無垢材らしさ」を感じることは困難であると考えられた。一方で、一部の評価用語では、樹種によっては厚みの違いが印象に影響を与える可能性が残った。

そこで本報では、評価対象のわずかな差も検出

しやすい一対比較を用いて前報¹⁾と同様の仮説を検証した。

2. 方法

2.1 サンプル

前報¹⁾で用いた6種×加工6段階のサンプルから、4種（ビーチまさ目：BU、ブラックウォールナット板目：BW、スギ板目：SG、ホワイートオーク板目：WO）×厚み4段階（t0.2、t0.5、t1.0、t4.0 mm）を選定して用いた。それぞれ同一の個体から切り出された薄板は厚さ9mmのMDFに貼り付けられており、表面は同一工程のクリアウレタン塗装（2回塗り）で仕上げられた。調整後のサイズは150mm角の正方形で、全体の厚みを裏面にスギ板を貼ることで13mmに揃えた。また、木口および木端から表面材の厚みが分からないように、4つの縁は黒色のマスキングテープでシールした。用いたサンプルの外観を表1に例示する。

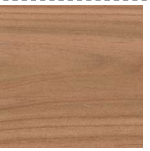
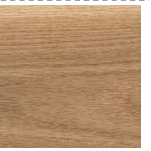
また、サンプルの見た目と手触りに関する物理量として、各サンプルの色と摩擦係数を測定した。色は測色計（日本電色工業株式会社、SE7700）を用いて、D65光源・10°視野条件で $L^*a^*b^*$ 値を1サンプル当たり9点測定して平均値を算出した。摩擦係数は静・動摩擦測定機（株式会社トリニティラボ、

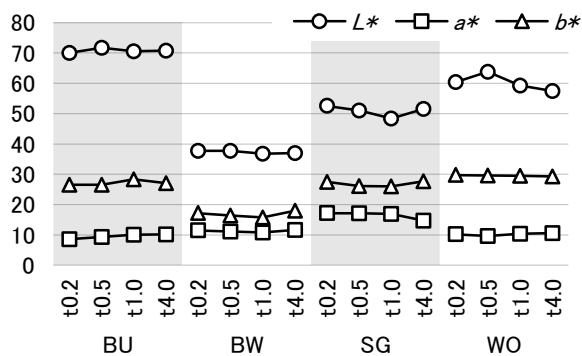
^{*1} 日本大学 生産工学部

^{*2} 岐阜県生活技術研究所 試験研究部

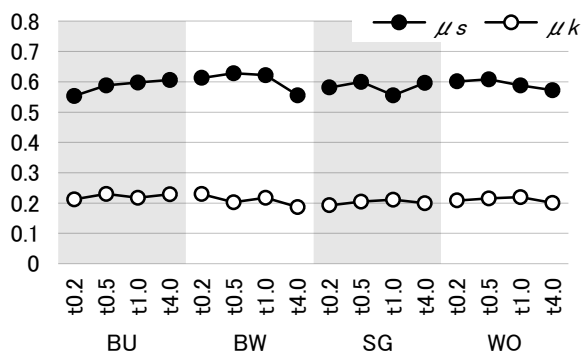
TL201Tt)を用いて、先行研究²⁾と同様に1サンプル当たり6か所を計測する方法で、静止摩擦係数 μ_s の平均値と動摩擦係数 μ_k の平均値を算出した。サンプルの表面特性の測定結果を図1に示す。

表1 実験サンプル (外観はt4.0を例示)

BU	BW	SG	WO
ビーチ	ブラックウォルナット	スギ	ホワイトオーク
<i>Fagus sylvatica</i>	<i>Juglans nigra</i>	<i>Cryptomeria Japonica</i>	<i>Quercus alba</i>
まさ目面	板目面	板目面	板目面
			



(a) 測色の結果



(b) 摩擦係数の結果

図1 サンプルの表面特性の測定結果

2.2 印象評価

印象評価には一対比較を用い、サンプルを2枚ずつ横に並べて、その印象の差を評価させた。本研究では厚みの違いを評価するため、樹種をまたいだ比較は行わず、同一樹種内の厚み4段階を組み合わせ一対比較を行った。また、往復判断を許容し、左右の順序効果は考慮しなかった(中屋の変法)。すなわち、試行数は $4C_2 \times 4$ 樹種=24となった。

評価者ごとの24ペアの提示順は、樹種の提示順をランダムにした後に、樹種内の6ペアの置き順と提示順をランダムにする方法で決定した。以上の評価を、観察だけでの評価(V条件)と開眼触察での評価(VT条件)で行ったため、総試行数は48回となった。V条件、VT条件ともに、暗室内の照明条件が統制された観察ボックス内に黒布を敷き、評価者から見て木目が横方向になるように、2枚のサンプルを左右に並べて平置きした。V条件では約50cm離れた位置からサンプルを見るだけで観察するように、VT条件では同様の位置に置かれたサンプルを開眼で触察するように指示した。実験風景を図2に示す。



図2 印象評価の実験風景

評価用語は、前報¹⁾を参考に9項目(ざらざら、でこぼこ、やわらかい、あたたかい、しっとり、人工的な、重厚な、高級な、好き)を用い、並べて置いたサンプルの差をそれぞれ7段階(Aが非常に、Aがかなり、Aがやや、どちらでもない、Bがやや、Bがかなり、Bが非常に)で評価させた。回答はタブレット端末を用いて収集した。

参加者として18~59歳の成人を募集し、26名が評価者として参加した(図3)。実験手続きは下記の通りとした。まず、実験室に入室させ、参加の同意と年齢等の個人属性を取得した。その後、評価の練習を行い、V条件の24試行を行った。5分の休憩の後、VT条件の24試行を行い、最後に実験全体の感想を聞き取った。参加者一人当たりの所要

時間は70分程度であった。実験室はエアコンを用いて室温25℃程度に調整した。

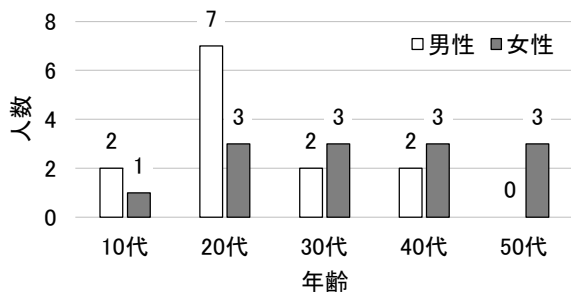


図3 実験参加者の内訳

2.3 解析

解析ではまず、一対比較の結果が矛盾していることを表す一巡三角形（circular triad: CT）の出現を確認した。評価の三角関係は、本研究で用いた厚みの違い4種の対象群では $4C_3=4$ か所で求められる。また、3種（大、小、等しい）の比較がある評価の三角関係は $3^3=27$ 種類になるが、本研究では14種類の矛盾した三角関係（ $[i < j, j < k, k < i]$ の類型2種、 $[i < j, j < k, k = i]$ の類型6種、 $[i < j, j = k, k = i]$ の類型6種）を比較結果に矛盾があるCTと見なした（図4）。その後、いくつかの評価条件について、厚み条件の平均嗜好度を分析した。

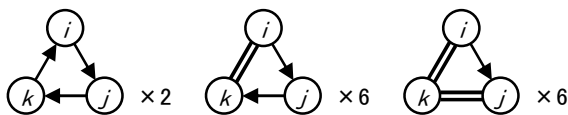


図4 一巡三角形の類型

3. 結果

3.1 一巡三角形の出現数

本研究では、4種の厚みの違いが、2種の観察条件、4種の樹種、9種の評価用語でそれぞれ比較された。これらの全72条件についてCTの出現割合（ $n=26 \times 4C_3$ ）を求めた（図5）。CT出現割合はほとんどの条件で20%以上であった。

3.2 厚み条件の平均嗜好度

ここでは、図5においてCTの出現割合が比較的小さい条件であった「V条件-BU-ざらざら」、「VT条件-BW-人工的な」、「VT条件-WO-高級な」の各条件に着目し、さらに上記条件の観察条件の違う結果もあわせて、結果として取り上げた。各条件での全評価者の平均嗜好度を図6に示す。

「BU-ざらざら」の評価について、V条件ではt4.0

が最もざらざらしていない評価となったが、VT条件ではt4.0が最もざらざらした評価となった。

「BW-人工的な」の評価では、特にVT条件において、t4.0が最も人工的な評価となった。一方、「WO-高級な」の評価では、V条件、VT条件ともに、t4.0が最も高級な評価となった。

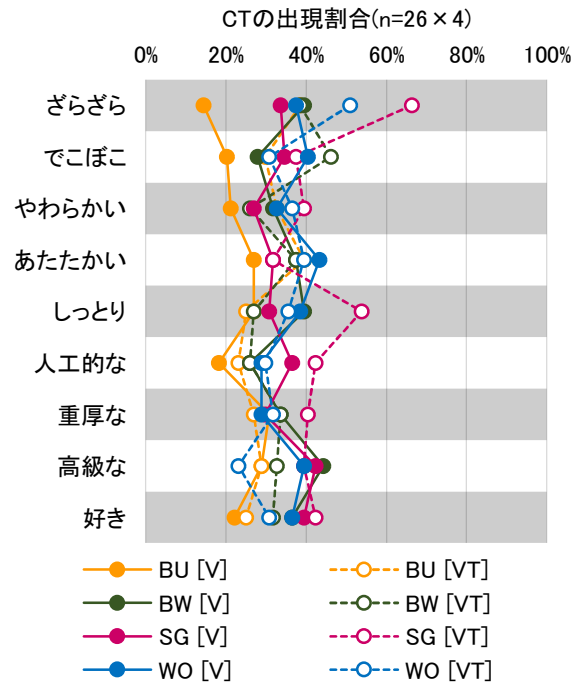


図5 CTの出現数の結果

4. 考察

4.1 矛盾した比較結果について

CTは、出現数が多いほど評価に矛盾があり、一意性を欠いていることを示すが、図5のCT出現割合はほとんどの条件で20%以上であった。一対比較の対象が5ペア以下ではCTの数が0でも一意性の検定で有意水準5%を下回らない³⁾ことを考えれば、いずれの条件でもCTの出現割合は高かったと言える。CTが現れる原因としては、評価者の識別能力が不足している、サンプル間の差がない、サンプル違いが1次元的でなく組み合わせ効果がある、のいずれかがあり³⁾、識別能力の不足以外の原因は本研究の仮説「木材の厚みが増すほどに印象が良くなる」に反することを示す。このことから、本研究で用いた無垢材部分の厚みの差（t0.2、t0.5、t1.0、t4.0 mm）の程度は、視覚的および触覚的な印象の差を明確に生じさせるほどでは無かったと考えられる。

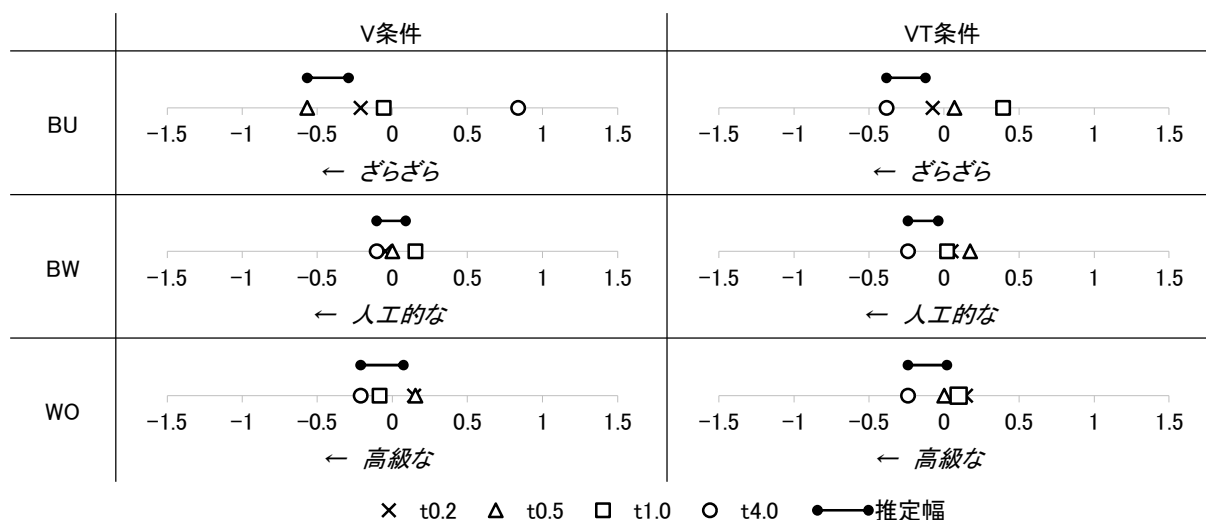


図6 一対比較の平均嗜好度の結果の抜粋 (n=26)

4.2 厚みの違いによる印象の変化について

CTの出現数の考察によって、無垢材部分の厚みの差4段階の評価には矛盾が多いことが示されたが、CTの有無では個別のサンプル間の差、例えば、t0.2とt4.0のサンプル間に印象の差があったかを議論することはできない。よって、ここでは平均嗜好度の結果に着目して、厚みの違いによる印象の変化を考察した。

「BU-ざらざら」の評価について、V条件ではt4.0が最もざらざらしていない結果となった一方で、VT条件ではt4.0が最もざらざらしているという結果を得た。摩擦係数の結果から、t4.0が最も滑りにくい表面特性を持つことが示唆されるため、VT条件でt4.0が最もざらざらした印象を与えたことは表面状態が原因であったと考えられる。一方で、V条件ではt4.0が最もざらざらしていない結果であり、触覚の有無によってざらざら感の評価が逆転していた。木材の開眼触察による印象評価では、視覚バイアスが生じるとの報告がある⁴⁾。BUサンプルの木目模様を確認したところ、t4.0では放射組織が他の条件よりも目立ちにくいことが確認でき、BUのざらざら感の評価には視覚バイアスが生じた可能性は否定できない。すなわち、BUのざらざら感の結果から仮説を支持することはできないと考えられる。

「BW-人工的な」の評価では、平均嗜好度の差は小さいものの、VT条件においてt4.0が最も人工的な評価であった。V条件においても、t4.0が最も人工的な評価であったが、平均嗜好度は0点付近であるため、V条件ではt1.0が人工的でない印象を与えた影響の方が支配的であると考えられる。また、グラフには示していないが、「VT条件-BW-ざらざ

ら」の評価では、t4.0が最もざらざらしていない、すなわち、つるつるしている、という結果が得られた。この結果はV条件では観察されなかったことから、BWのt4.0がVT条件においてつるつるで人工的な印象を与えたのは触覚的な要因によると考えられる。摩擦係数の結果においてBWのt4.0が最も滑りやすい結果を示したことも、この考察と対応する。本研究で用いた表面塗装は造膜型のウレタン塗装の2回塗りであったが、可能性としては、環孔材であるWOや半環孔性の道管を持つBWでは、木材部分が厚い場合には塗料が木部に吸い込まれて塗膜が薄くなり、木部が薄い場合には、逆に塗膜が厚くなると考えることができる。BWのt4.0がVT条件においてつるつるで人工的な印象を与えた結果は、仮説「木材の厚みが増すほどに印象が良くなる」に反するが、t4.0が最も摩擦係数が小さかった結果は表面材の厚みの違いによって、表面特性が変化する可能性を示唆する。

「VT条件-WO-高級な」の評価では、t4.0が最も高級な評価であったが、V条件においてもt4.0が最も高級な評価であり、模様の影響が示唆される。サンプルの木目模様を確認したところ、t4.0以外には小さな入り皮の模様が見られた。すなわち、WOでt4.0が最も高級な評価を得た結果から、仮説を支持することはできないと考えられる。

4.3 実務への示唆

前報¹⁾と同様に、表面的な観察や触察の評価では、無垢材部分の厚みが印象に与える影響は小さいことが示唆された。反対に、放射組織の現れ方や小さな入り皮の模様などのわずかな見た目の違いの方が印象には影響を与えやすいことが示唆された。

これらのことから、無垢材を用いた製品において無垢材の自然さや重厚感を伝達するためには、視覚的に認識できる木口や木端へかけての連続的な木目模様を見せることなどが重要であることが示唆される。反対に、突板を活用した製品においては、表面的な情報からは木材部分が薄板であることは認識されにくいので、木口や木端を視覚的に意識させないデザインを用いることで、突板であっても無垢材と同等の自然さや重厚感を与えられることが期待できる。

一方で、無垢材部分の厚みが変わると、材色の透過や摩擦などの表面特性が変化すると考えられ、本研究の結果からは、樹種によっては塗装の染み込みやすさが厚みの違いによって変化する可能性が示唆された。無垢材部分の厚みの違いによる表面特性の変化については、今後より詳細な検討が必要である。

5. まとめ

本研究では、無垢材らしさの解明を目的に、厚みの違う無垢材を貼り付けたサンプルの印象を一对比較で評価して、仮説「木材の厚みが増すほどに印象が良くなり、ある値で飽和する」を検証した。一对比較の比較関係が矛盾していることを示す一巡三角形(CT)の出現をカウントしたところ、多くの条件でCTの出現率が20%以上であり、本研究で用いた厚みの違い4段階(t0.2、t0.5、t1.0、t4.0 mm)は、視覚的・触覚的な印象において、多くの人にとって識別できるほどではないことが示唆さ

れた。また、各条件において無垢材部分の厚みの平均嗜好度を比較した結果、仮説を明確に指示する結果は得られず、印象の違いは放射組織の見た目や入り皮などのわずかな木目模様違いの影響を受けやすいことが示唆された。以上より、前報¹⁾と同様に、表面的な観察や触察の条件では、木材の「無垢材らしさ」に無垢材部分の厚みはほとんど影響を与えないことが示唆された。

一方で、無垢材部分の厚みが異なることで、塗装の染み込みやすさが変化して、表面の摩擦特性が変わる可能性が示唆された。表面特性の変化の度合いによっては、与える印象も変化する可能性があるため、今後、厚みの違いによる表面特性の変化を詳細に検討することが有効である。

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6報)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 26、pp. 6-9、2024.
- 2) 藤巻吾朗他、木材の触覚特性の数値化と手触り感に関する指針の提案(第3報)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 24、pp. 38-42、2022.
- 3) 日科技連官能検査委員会、新版官能検査ハンドブック、日科技連出版社、1973.
- 4) 堀田修吾他、塗装木材の粗滑感に及ぼす視覚の影響、材料、66(10)、pp. 719-724、2017.

伝統技法とCNC加工による新たな家具製造手法の確立（第4報） 5軸CNC加工機による3次元加工の優位性

成瀬哲哉*

Integration of Traditional and Digital Technologies for Furniture Manufacturing (IV) The advantages of 3D machining using a 5-axis CNC milling machine.

NARUSE Tetsuya*

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ている。

本年度の研究では昨年度に引き続き、導入した5軸CNC加工機の優位性を検証するために加工対象物に3軸加工と5軸加工を施し、加工時間及び加工の寸法精度や表面仕上げの品質をアーム式3Dスキャナーで検証した。

生産性の観点からは加工時間が短くなる3軸加工の方が優位であると考えられるが、5軸加工はCADデータの形状をより忠実に再現でき、その後の手作業の負担軽減につながると考えられた。

1. 緒言

「飛騨・高山の家具®」は、高品質な木材、優れたデザイン、及び熟練職人による高度な加工技術によって高級木製家具として高い評価を受けており、平成14年以降、「木製机・テーブル・椅子」の出荷額において岐阜県は全国1位を維持している。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向上により、市場競争が激化していることから、市場競争力を維持すべく高付加価値製品の開発が求められている。

さらに飛騨地域の木製家具産業においても、高品質な製品を製造するために不可欠な熟練職人の確保が困難となっている。この課題に対応するため家具産業では、5軸CNC加工機のような高度な機械の導入が進められており、職人と機械の協働による製品品質の向上が期待されている。

本研究プロジェクトでは、伝統技法と先端的なCNC加工技術を融合し、従来の手法では実現が困難であった革新的なデザインや機能を備えた「飛騨・高山の家具®」の創出を目指している。

本年度の研究では昨年度に引き続き、導入した5軸CNC加工機の優位性を検証するために、加工対

象物に3軸加工と5軸加工を施し、加工時間及び加工の寸法精度や表面仕上げの品質をアーム式3Dスキャナーで検証したので報告する。

2. 5軸CNC加工機の優位性の検証

2.1 3軸CNC加工と5軸CNC加工の比較

昨年度は図1に示すような凸型形状のCADモデルを作成し図2に示すように積層合板の切削を行ったが、家具製造に即したCADモデルではなかったため、切削の効率を比較した場合に3軸加工の特性、5軸加工の特性の違いを明確にすることが難しかった。

そこで、本年度はより家具製造に即したCADモデルとして座面の座繰り形状と呼称される凹面構造のCADモデル(図3)を作成し、切削加工を行った。

図3をCAMソフト（ライコムシステムズ(株) AlphaCAM)を用いて加工パスを作成し、作成した加工パスを基に5軸CNC加工機（シンクス(株) 型番：ZXH-1313F）を用いてラフィングエンドミル(直径16mm、送り速度2000mm/min、切削幅8mm)による荒加工のち、ボールエンドミル(直径20mm、送り速度2000mm/min、切削幅10mm)で同心円状(図4)にそれぞれ3軸加工による仕上げ加工、5軸加工による仕上げ加工を行った。

* 試験研究部

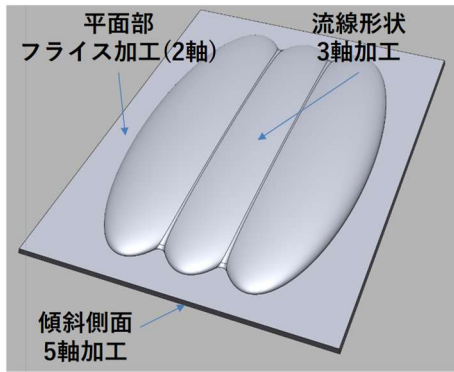


図1 昨年度の凸型形状のCADモデル



図2 積層合板の切削結果

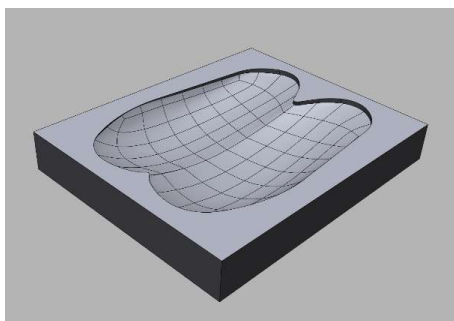


図3 CADモデル(座繰り形状)

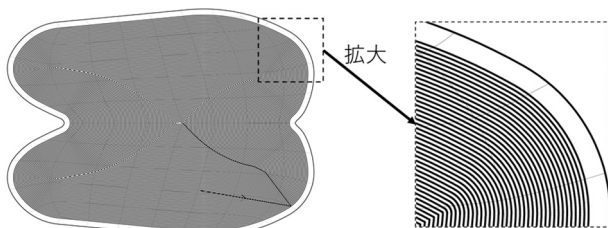


図4 加工パス拡大(同心円状)

図5に3軸加工の模式図、図6に5軸加工の模式図示す。また、図7に3軸加工の加工シミュレーション結果、図8に5軸加工のシミュレーション結果を示す。

ボールエンドミル(直径20mm)による仕上げ加工部分は図7、図8ともに図中の紫色の部分で、3軸加

工は積層合板に対して垂直方向に切削工具が当たり、5軸加工ではCADデータの面に合わせて切削工具が当たる。



図5 3軸加工の模式図



図6 5軸加工の模式図

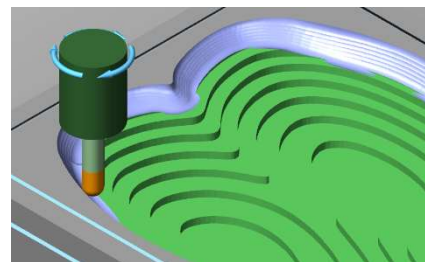


図7 3軸加工の加工シミュレーション結果

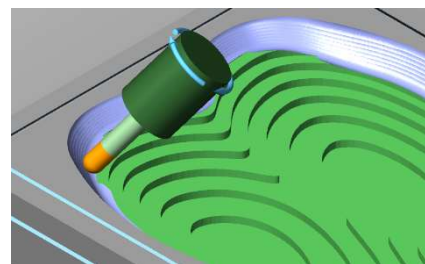


図8 5軸加工のシミュレーション結果

2.2 加工結果

図9に加工結果を示す。



図9 加工結果(左:3軸加工, 右:5軸加工)

加工部分の色の違いは合板に用いられている木材の色の違いである。

次に加工時間を表1に示す。

3軸加工と比較して5軸加工は仕上げ加工に約2倍の時間を要していることがわかる。

表1 加工時間

	荒加工	仕上げ加工	総加工時間
3軸加工	28min	37min	65min
5軸加工		78min	106min

2.3 加工精度の検証

3軸加工においては加工面に等高線状の加工痕が生じる。一方、5軸加工では3次元曲面に対して切削工具を適切に当てることが可能であるため、等高線状の加工痕は生じにくい。しかし、木製品の加工は金属加工等とは異なり、切削加工後に手作業による研磨が必要となることから、加工痕の状態は研磨作業の所要時間に影響を及ぼすと考えられる。そこで、本研究では、3軸加工および5軸加工における加工精度を検証する。

検証方法は3Dスキャナー（ファロージャパン(株)FARO Prizm+Quantum E V2 2.5m 7軸 8-Axis システム）を用いて、加工された積層合板の3Dスキャンを行い、計測結果の3D点群データをCADデータに重ね合わせ、3D計測・検査ソフトウェア（(株)スリーディー・システムズ・ジャパンGeomagic ControlX）を用いてCADデータとの偏差を測定した。

図10に加工精度検証方法を示す。

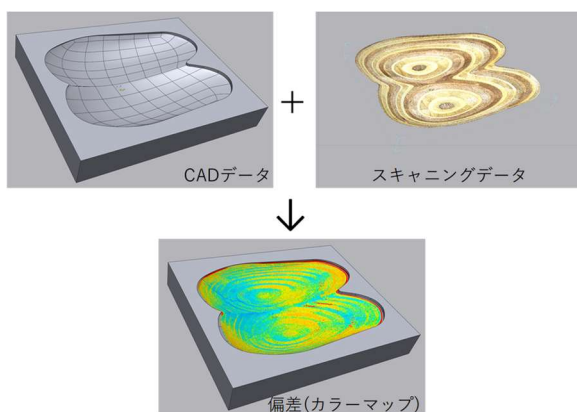


図10 加工精度検証方法

計測した3軸加工の偏差(カラーマップ)を図11に、5軸加工の偏差(カラーマップ)を図12に示す。カラーマップは濃い赤(偏差+0.3mm)～濃い青(偏差-0.3mm)となる。

図13に偏差+0.3mmから-0.3mm間の0.01間隔のヒ

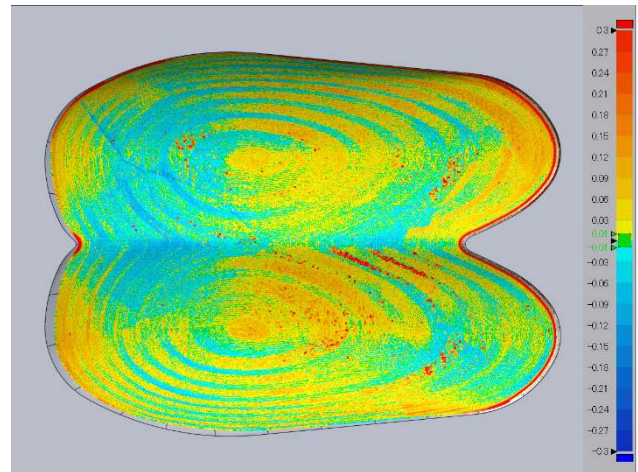


図11 3軸加工の偏差(カラーマップ)

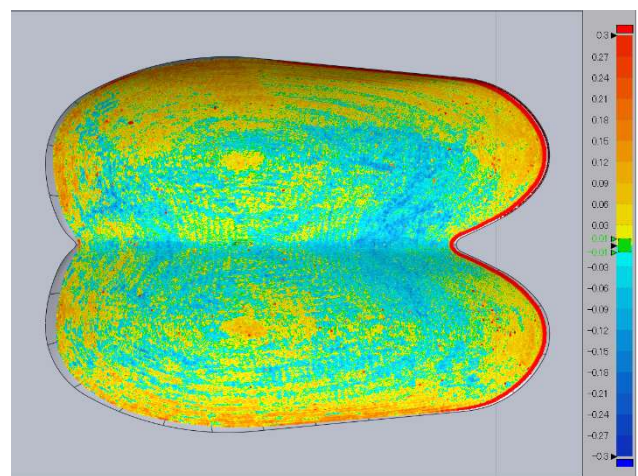


図12 5軸加工の偏差(カラーマップ)

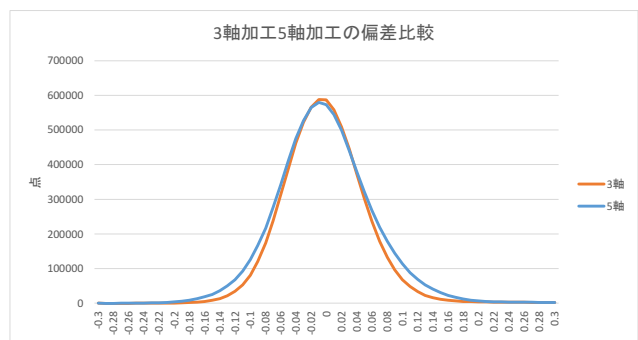


図13 偏差ヒストグラム

ストグラム(3軸加工と5軸加工の比較)を示す。

図13のヒストグラムより、偏差が-0.1～+0.1の範囲に収まっている点の割合は3軸加工の場合は95.3%、5軸加工の場合は91.1%とどちらの加工方法においても高い加工精度を有していることが読み取れる。また偏差のばらつきは3軸加工、5軸加工ともに似たような傾向を示しているが、図11、図12を比較すると3軸加工は5軸加工と比較して同

心円状にカラーマップの偏り・ムラが見られる。

この偏り・ムラを評価するため、CADモデルの断面におけるCADデータと測定データの偏差の評価を行った。

図14にCADデータの断面位置と形状を示す。

断面部の偏差のヒストグラムを図15に、断面部の偏差を図16、図17に示す。

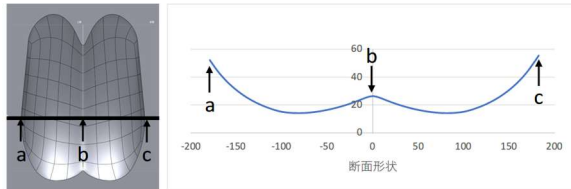


図14 断面位置

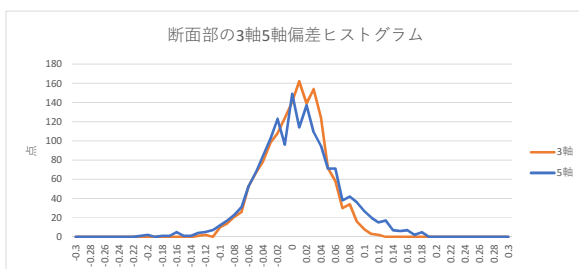


図15 断面部の偏差のヒストグラム

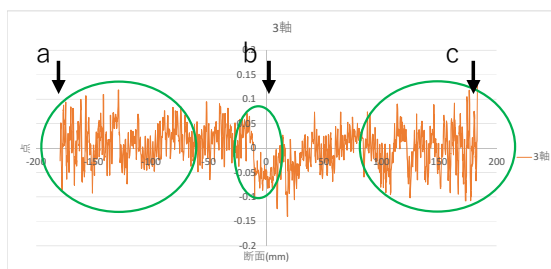


図16 断面部の偏差(3軸加工)

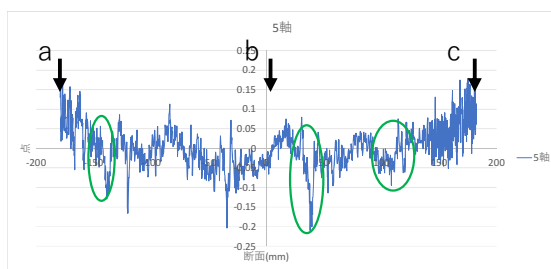


図17 断面部の偏差(5軸加工)

図15より、偏差のばらつきは全体での比較と同様に3軸加工、5軸加工ともに似たような傾向を示している。

しかし、断面方向の偏差を比較すると図16及び図17中の緑の円内のように3軸加工は5軸加工と比べて広い範囲で偏差の変化が大きく、加工面全体にムラが存在していることが読み取れる。

表面の切削加工後には、ランダムオービタルサンダー等を用いて手作業による表面の研磨作業が必要であるが、加工状況にムラがある場合は均質な面を仕上げる際の妨げになると考えられる。

2.4 検証結果

加工対象物に3軸加工と5軸加工を施し、加工時間及び加工の寸法精度や表面仕上げの品質をアーム式3Dスキャナーで検証した。

加工時間において5軸加工は3軸加工の2倍程度の時間を要しており、加工時間だけを考えた場合は生産性の低下につながると考えられる。

加工精度の検証結果では、CADデータとの偏差の傾向やばらつきは3軸加工と5軸加工は同程度であったが、切削加工後の手作業による表面の研磨作業の観点から偏差の状態を比較したところ、5軸加工は3軸加工よりも研磨作業が容易であると推測された。

3. まとめ

本研究では、導入した5軸CNC加工機の優位性を検証するため、加工対象物に対して3軸加工および5軸加工を施し、加工時間、寸法精度、ならびに表面仕上げの品質に関してアーム式3Dスキャナーを用いて評価した。

生産性の観点からは加工時間が短くなる3軸加工の方が優位であると考えられるが、5軸加工はCADデータの形状をより忠実に再現でき、その後の手作業の負担軽減につながると考えられた。

今後の課題として、生産性の面で3軸加工に対して不利と考えられる5軸加工において、3軸加工より5軸加工が優位性を持つ加工方法を模索する。それを基に、加工時間や仕上がり品質を含めて5軸加工の有効性をさらに検証し、その適用範囲を明確にする計画である。

参考文献

- 1) 成瀬哲哉, 伝統技法と CNC 加工による新たな家具製造手法の確立(第3報) 5軸CNC加工機による3次元加工の優位性, 岐阜県生活技術研究所研究報告, 26, pp. 10-12, 2024.

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4報) 視覚情報によるクッション製品の触感の伝達

藤巻吾朗^{*1}, 山口穂高^{*2}

Visualizing the Tactile Sensation of Cushions for the Digitalization of Product Proposal Process (IV) Conveying the Tactile Impression of Cushioning Products by Visual Information

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

本報告では、これまでの研究成果をもとに作成したアニメーションの触感の伝達精度について調査を行った。全体的な傾向としては「やわらかい感じ」「フィットする感じ」「座り心地」について、アニメーションを見たときと実際に座ったときの評価は同様の傾向を示しており、触感の伝達は概ね良好な結果を示した。しかし、個人で見た場合、アニメーションを見たときと実際に座ったときでは、印象にギャップがあるとの意見もあった。さらなる伝達精度の向上には、個人に合わせて動画の設定値を調整し、呈示する必要があると考えられたが、その調整方法や実用性の面で課題が残り、現状では動画とイメージマップとの併用が互いの伝わりづらい部分を補い、有効であると考えられた。

1. 緒言

近年、消費者は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ケースが増えており、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。その中でもソファや座椅子などのクッション製品の触感は、製品の購入検討を行う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。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。

これまでに3Dスキャンをもとにしたクッション製品の三次元変形の可視化手法¹⁾、触感を伝えるためのアニメーション（以下、動画）の設定値の検討²⁾を行ってきた。本報告では、これまでの研究成果をもとに実際のクッション製品を使って動画を作成し、動画を見た時の触感と実際に座った時の触感を比較することで動画による触感の伝達精度を検証した。

2. 調査内容

2.1 調査概要

形状や硬さ、反発力の異なる7種類のクッション製品を用いて、触感に関するアンケート調査を行った。アンケート項目は、座面、背もたれ、それぞれの「やわらかい感じ」「跳ね返る感じ」「フィットする感じ」、総合評価として「座り心地」の計7項目とした。アンケートはVASスケールにより実施し、回答結果はデジタルノギスで0.1mm単位まで計測し、小数点第一位を四捨五入した。

実験参加者は、モニターに呈示された7種類の動画を見た条件（以下、動画条件）と7種類のクッション製品に実際に座った条件（以下、実物条件）の2つの条件でアンケートに回答した。呈示順序は、動画条件の後に実物条件とし、それぞれの条件内のサンプルの呈示順序はランダムとした。動画条件では、モニターの位置および角度は実験参加者が見やすい位置に本人が調節し、15.6インチのモニターに動画をフルスクリーンで呈示した。動画は回答が終わるまでループ再生し、何度も見直しを可能とした。実物条件では、サンプルは動画と同じ角度条件に固定し、着座姿勢や座り直しは自由とした。実験参加者は19歳から50歳の男女25名（男性14名、女性11名）であった。

^{*1} 岐阜県生活技術研究所 試験研究部

^{*2} 日本大学 生産工学部

2.2 クッション製品のサンプル

調査には、図1に示した7種類のクッション製品を使用した。また、クッション製品の物性値として、JIS K6400-2 圧縮たわみ試験B法を参考に試験を行い、最大変位とヒスロス率を求めた(表1)。試験は日本人男性が着座した際の座面、背もたれにかかる荷重を想定し、座面は520N、背もたれは180Nの荷重を直径200mmの円盤を介して加えた。試験速度は1000mm/minで実施した。荷重位置については、JIS S1203で規定される負荷位置決めジグを使用して求めた。

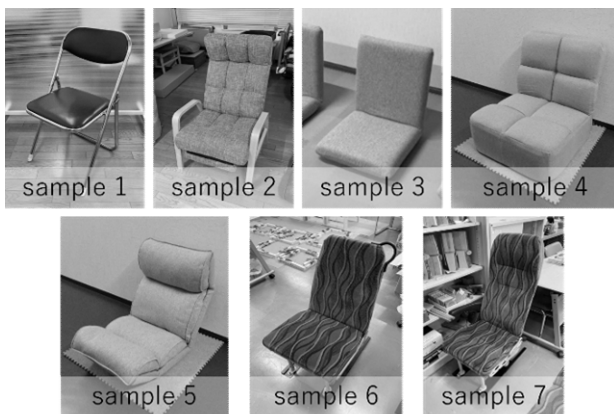


図1 調査に使用したクッション製品

表1 クッション製品の物性値

	最大変位 (mm)		ヒスロス率(%)	
	座面	背もたれ	座面	背もたれ
sample 1	25.8	13.5	29.8	12.2
sample 2	93	45.6	19.2	17.8
sample 3	48.3	22.3	38.7	20.7
sample 4	115.2	73.1	39.1	38.5
sample 5	102	85.1	46.1	45.7
sample 6	47.2	4.3	21.9	-149.9
sample 7	56.4	19.3	12.7	-48.7

2.3 動画のサンプル

3Dスキャナ (Artec Eva) を使用し、クッション製品の三次元形状の測定を行った。過去に提案した手法¹⁾に従い、測定は非荷重状態と荷重状態(人体形状を模したジグを介して、日本人男性の標準的な体重に相当する重りを載せた状態)で行い、荷重状態での測定結果については、測定後ジグの消去と穴埋めを行った。非荷重状態の3Dモデルと荷重状態の処理後の3Dモデルをもとにモーフィング処理を行い、動画を作成した。図2に動画のキャプチャー画像を示す。動画作成の際は、過去の研究成果²⁾をもとに、クッション製品の最大変位、ヒスロス率から

動画の沈み量、変形後の復元時間を算出し(表2)、30fpsの動画を1920px×1080pxのサイズで書き出しを行った。事前に行った予備実験の結果では、表1の最大変位で作成した動画を見せると座面については「やわらかい感じ」が過剰評価されていたが、背もたれについてはその傾向はみられなかったため、背もたれについては、表1の最大変位の値を使用した。表2の*の付いた値は研究成果²⁾をもとに算出した結果が0以下となったサンプルで、暫定値として表内の数値を代入した。

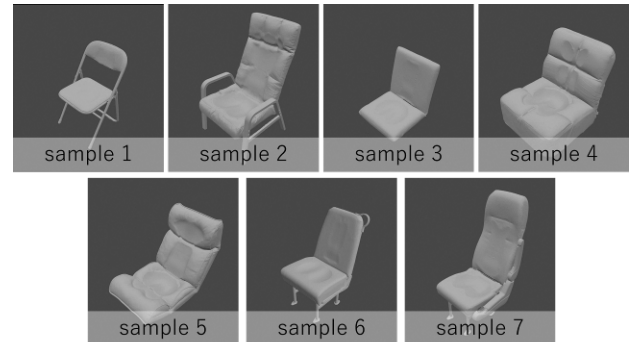


図2 動画のキャプチャー画像(最大変形時)

表2 動画の設定値

	沈み込み量 (mm)		復元時間 (フレーム)	
	座面	背もたれ	座面	背もたれ
sample 1	2.6*	13.5	12	6
sample 2	95.0	45.6	9	9
sample 3	28.8	22.3	15	9
sample 4	127.8	73.1	15	15
sample 5	108.3	85.1	18	18
sample 6	27.1	4.3	9	3*
sample 7	40.7	19.3	6	3*

*は暫定値

3. 結果と考察

3.1 サンプルごとの平均による全体的な傾向

クッション製品ごとに実験参加者全体の平均および標準偏差を求め、動画条件と実物条件との評価結果を比較した。これにより、動画によるクッション製品の触感の伝達についての全体的な傾向を調べた。

3.1.1 「やわらかい感じ」について

座面、背もたれともにヒスロス率の低い(反発力の高い) sample 2、sample 7 が他のサンプルと比較して、動画条件と実物条件での評価の差が大きい傾向が見られた(図3、図4)。sample 1 の座面については、沈み込み量が計算上マイナスの値になっ

てしまい暫定値を入れたが、視認が難しく、ほとんどの人が「やわらかい感じ」を低く評価した。

以上のことから、動画による「やわらかい感じ」の伝達は概ね良好であると考えられたが、反発力の高いサンプルについては、実物呈示よりもやわらかいと感じる傾向が見られた。現状では、最大変位のみから「やわらかい感じ」を推定し、動画の沈み込み量を設定しているが、ヒスロス率も加味することで「やわらかい感じ」の伝達精度がより向上することが推察される。しかし、後述する「跳ね返る感じ」については、現状ではあまり伝達が出来ていないと考えられ、「跳ね返る感じ」が伝わることで「やわらかい感じ」の伝達精度も自然と向上することも考えられる。伝達精度の向上については、これらの2つの方向性で検討する必要がある。

3.1.2 「跳ね返る感じ」について

動画条件、実物条件の両条件で、座面、背もたれともに人による評価のばらつきが大きく、サンプル間の差も他のアンケート項目と比べて小さかった(図5、図6)。動画条件に関しては、人によってはサンプルによる違いをあまり感じないといった意見もあり、復元時間以外のパラメータの設定を付加する必要性も考えられた。具体的にはクッション製品を押し込んだ際に変位がオーバーシュートするような動きや抜重時の動き³⁾などが候補として考えられる。また、聞き取り調査では、「跳ね返る感じ」は動画条件だけでなく、実物条件でも判断が難しく、実験中に評価基準が変わってしまったかもしれないという意見もあった。また、sample 1、sample 3、sample 6、sample 7などのいわゆる硬めのクッシ

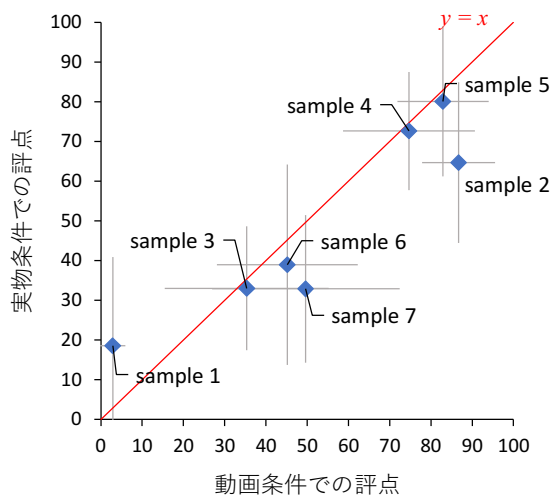


図3 「やわらかい感じ」(座面)

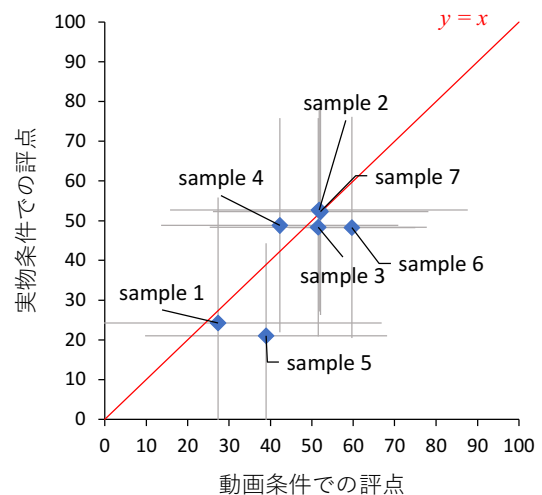


図5 「跳ね返る感じ」(座面)

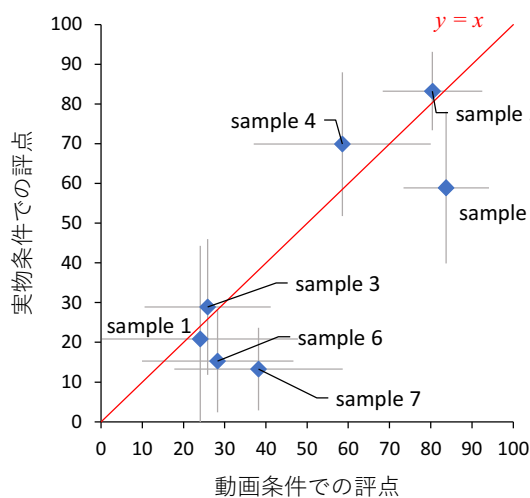


図4 「やわらかい感じ」(背もたれ)

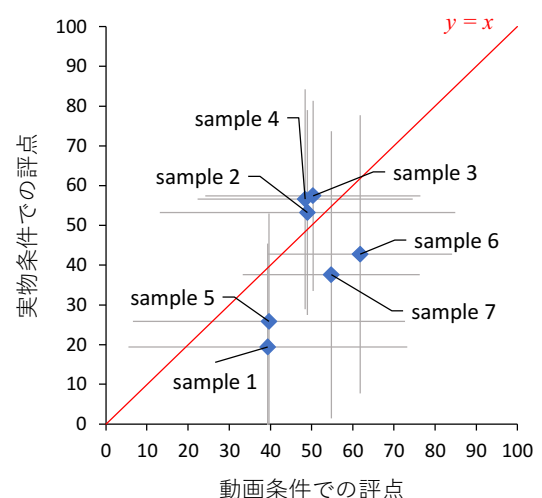


図6 「跳ね返る感じ」(背もたれ)

ョンについては、「跳ね返る感じ」が高いと回答するグループと低いと回答するグループが混在しており、全体的にばらつきが大きかったため明確ではないが二峰性分布の傾向があると考えられた。動画による触感の伝達以前に用語の定義があいまいで、評価基準が統一されなかったことが懸念された。

3.1.3 「フィットする感じ」について

座面については、全般的に動画条件が実物条件と比較して「フィットする感じ」が高く評価される傾向があった(図7)。背もたれでは、ヒスロス率の低い(反発力の高い) sample 2、sample 6、sample 7 で、動画条件の方が「フィットする感じ」が高く評価される傾向があった(図8)。動画条件で「やわらかい感じ」が過剰評価されたサンプルは「フィットする感じ」でも同様に過剰評価されており、評価傾向が類似していた。

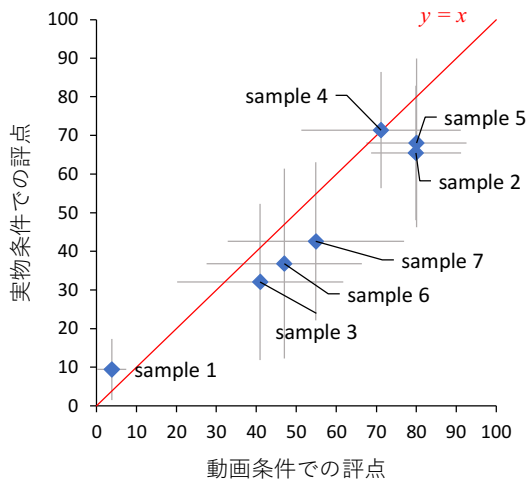


図7 「フィットする感じ」 (座面)

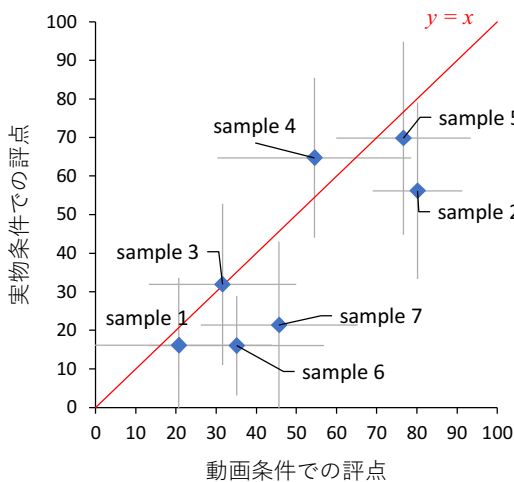


図8 「フィットする感じ」 (背もたれ)

複雑な形状を持つ実製品においては「やわらかい感じ」と「フィットする感じ」との間に相関関係はみられないと想定していたが、図9、図10のように強い相関関係が見られた。極端に身体にフィットするような形状の製品でない限りは、「やわらかい感じ」の伝達により、「フィットする感じ」の伝達も可能となることが推察される。

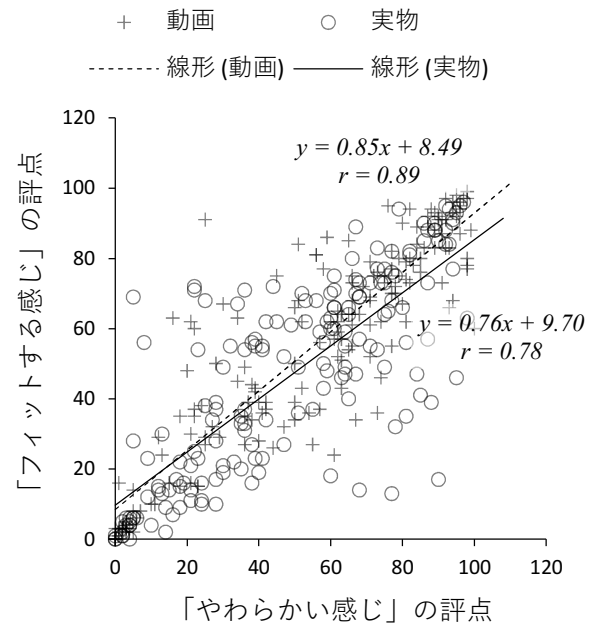


図9 「やわらかい感じ」と「フィットする感じ」の相関関係 (座面)

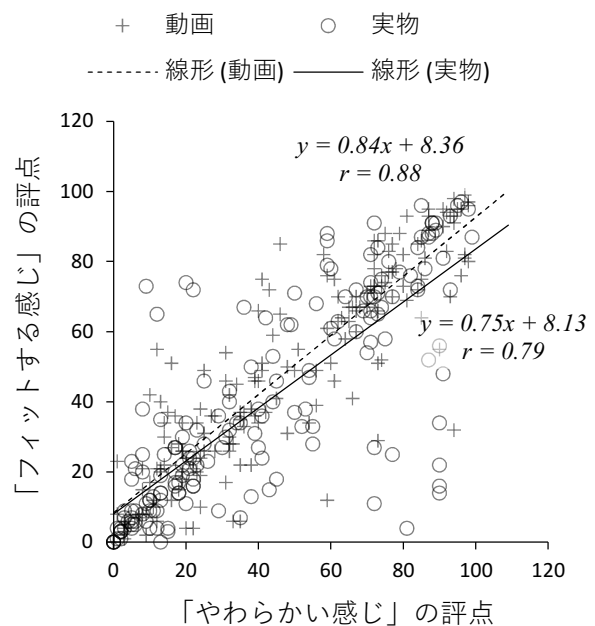


図10 「やわらかい感じ」と「フィットする感じ」の相関関係 (背もたれ)

3.1.4 「座り心地」について

今回は触感の調査が中心であり、座り心地については、着座姿勢の影響なども大きいと考えられたため、あくまで参考としてのデータ取得であったが、動画条件と実物条件の評価結果は近い値を示した(図11)。また、「フィットする感じ」と同様に「座り心地」についても「やわらかい感じ」との相関関係が認められた(図12)。今回は1サンプルあたり数分程度の非常に短い時間での評価であったことや触感のことに中心にアンケート調査を行ったこともあり、姿勢保持の機能などよりも触感を重視して「座り心地」が評価されたことも考えられるが、このような条件においては、「座り心地」のような高次の感覚もある程度は伝達可能であることが示唆された。

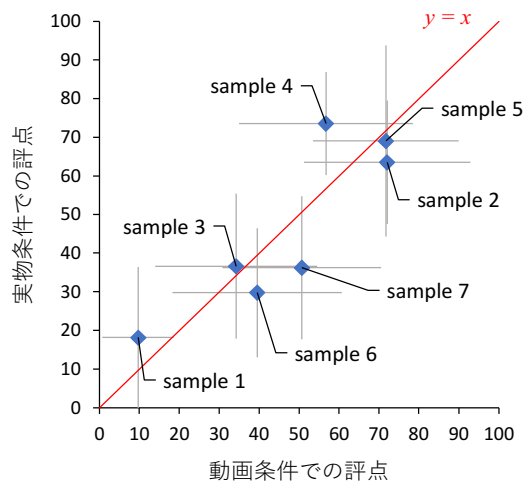


図11 「座り心地」

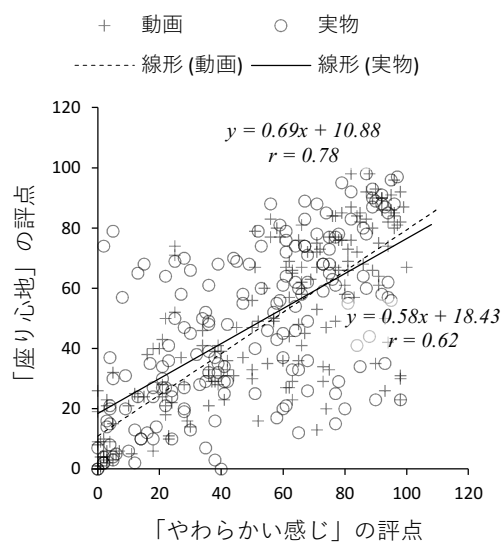


図12 「やわらかい感じ」と「座り心地」の相関関係

3.2 個人内での動画条件と実物条件の比較

実験参加者ごとに動画条件と実物条件での評価結果の相関関係を調べた(表3)。

「やわらかい感じ」「フィットする感じ」については、個人単位でみると0.7以上の強い相関の参加者が半数程度いることが確認された。「跳ね返る感じ」については、座面については半数以上が中程度の相関があったが、背もたれについては半数以上が相関係数0.4未満であり、個人単位で見ても触感の伝達があまりできていないことが確認された。

以上のことから、「やわらかい感じ」「フィット感」さらには、「座り心地」については、個人単位で動画の設定値を調整することで、高い精度で伝達できる可能性が示された。しかし、今回の実験結果では、個人の身体特性(身長、体重)と触感の評価傾向との間に関係はみられず、個人に合わせた動画の設定値の調整方法は明らかにできなかった。

表3 動画条件と実物条件との相関関係

ID	やわらかい感じ		跳ね返る感じ		フィットする感じ		座り心地
	座面	背もたれ	座面	背もたれ	座面	背もたれ	
1	0.745	0.691	0.783	0.556	0.879	0.559	0.802
2	0.892	0.834	-0.065	-0.001	0.928	0.682	0.672
3	0.824	0.740	0.847	0.729	0.714	0.795	0.814
4	0.699	0.467	0.745	0.785	0.769	0.895	0.619
5	0.481	0.812	0.400	0.690	0.543	0.598	0.626
6	0.763	0.792	0.653	0.839	0.597	0.734	0.818
7	0.673	0.338	0.768	-0.115	0.674	0.344	0.640
8	0.894	0.891	0.490	0.524	0.986	0.776	0.601
9	0.686	0.550	0.729	0.694	0.637	0.400	0.398
10	0.740	0.714	0.586	-0.302	0.274	0.486	0.449
11	0.918	0.479	0.726	-0.043	0.720	0.838	0.037
12	0.564	0.722	0.654	0.859	0.892	0.806	0.951
13	0.332	0.571	0.227	-0.102	0.719	0.311	-0.163
14	0.687	0.645	0.391	0.275	0.697	0.410	0.776
15	0.598	0.568	0.417	0.369	0.571	0.754	0.724
16	0.780	0.609	0.577	-0.284	0.824	0.791	0.859
17	0.261	0.949	0.477	0.812	0.477	0.798	0.653
18	0.865	0.617	0.237	0.144	0.869	0.351	0.710
19	0.780	0.626	0.497	0.016	0.336	0.053	0.407
20	0.461	0.586	0.443	0.630	0.666	0.434	-0.253
21	0.812	0.888	0.287	-0.202	0.814	0.889	0.879
22	0.893	0.904	-0.066	-0.173	0.811	0.799	0.505
23	0.742	0.703	0.697	0.707	0.820	0.794	0.934
24	0.894	0.959	0.177	-0.633	0.556	0.488	0.667
25	0.590	0.628	0.403	0.506	0.703	0.564	0.576
0.7以上	14名	12名	6名	6名	14名	12名	10名
0.4以上、 0.7未満	9名	12名	12名	6名	9名	8名	11名
0.4未満	2名	1名	7名	13名	2名	5名	4名

3.3 イメージマップによる触感伝達の補助

動画による触感の伝達は直感的であり、数値や言語による伝達に比べて、実際に座ったときの絶対評価を推定しやすいことが想像できる。今回の実験でも「やわらかい感じ」「フィットする感じ」「座り心地」については、絶対評価の個人差はあるものの、評価の平均値としては十分な精度を満たしていた。

しかし、直感的で絶対評価が推定しやすい反面、個人が実物に座ったときとの推定誤差で違和感が発生しやすいという問題が生じる。個人に合わせて映像の設定値を調整することで、その誤差も小さくできる可能性が示されたが、個人に合わせた調整方法や実用性の面で課題が残る。

推定誤差により生じる違和感を減らすためには、推定誤差の可視化や絶対評価の推定誤差を補正するための他の製品との相対的な比較が有効であると考えられる。そのためにはイメージマップのような製品の一覧表示が向くと考えられるが、イメージマップだけでは絶対評価が推定しにくく、動画とイメージマップとの併用が、互いを補い合い有効であると考えられる。

図13に物性値から予測した「やわらかい感じ」の評点と95%予測区間を示したイメージマップの例を示す。これにより、製品間の「やわらかい感じ」の比較やその誤差範囲を把握することが可能となり、動画を見ることで「やわらかい感じ」「フィッ

トする感じ」「座り心地」の具体的なイメージを推測することが可能となると考えられる。

4. まとめ

視覚情報によるクッション製品の触感の伝達のため、クッション製品の物性値をもとに動画を作成し、動画を呈示した条件と実際に座った条件での触感評価を比較することで伝達精度の検証を行った。実験参加者全体の平均としてみると、座面の「やわらかい感じ」「フィットする感じ」「座り心地」については、動画と実物の評価は同じ傾向を示しており、背もたれは座面に比べてやや差が大きかったが、同様の傾向が見られた。個人でみたときには、動画条件と実物条件の評価にある程度の誤差はあったものの物性値から予測可能な誤差範囲内には十分に収まっており、動画による触感の伝達は、概ね良好であったと考えられた。「跳ね返る感じ」については、触感の伝達はあまりできていなく、また、用語の定義があいまいであり、統一した基準での評価ができなかったことが懸念され、課題が残った。

個人単位でみると、動画を見た時と実際に座った時と印象にはギャップがあるという意見もあり、今後のさらなる伝達精度の向上のためには個人に合わせて動画の設定値を調整して呈示する必要があると考えられた。しかし、個人に合わせた動画の呈示は個人に合わせる調整方法や実用性の面で課題が残り、その代替案としてイメージマップと動画との併用を提案した。

謝辞

座椅子製品をお貸しいただいた明光ホームテック株式会社様、ならびに乗り物用座席をお貸しいただいた天龍工業株式会社様に感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤巻吾朗他：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。
- 2) 藤巻吾朗他：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3報）硬軟感と反発感を伝達するためのアニメーションの設定条件，岐阜県生活技術研究所研究報告，26，pp. 13-17，2024。
- 3) 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.

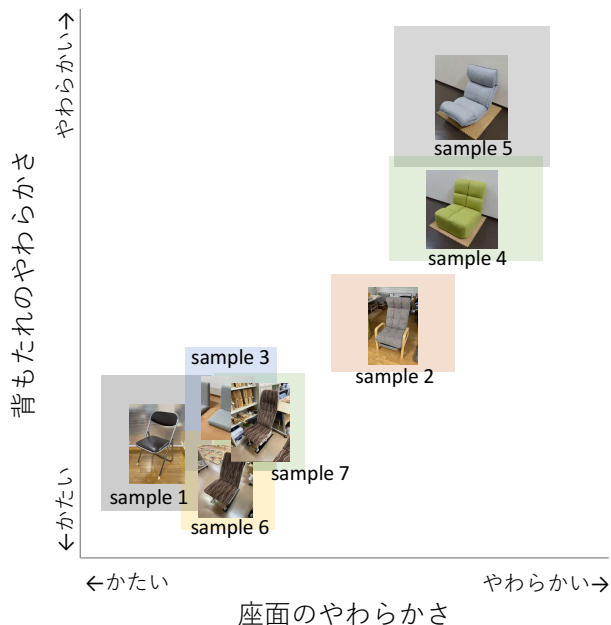


図13 触感のイメージマップの一例

構造解析を用いた椅子設計による効率と自由度の向上に関する研究 (第1報)

ASME V&V 40に基づくサブアセンブリを用いた接合部評価方法の提案

森茂智彦^{*1*2}, 松井和己^{*2}, 山田貴博^{*2}

Research on improving efficiency and freedom by chair design using structural analysis (I)
Proposal of a joint evaluation method using subassemblies based on ASME V&V 40

MORIMO Tomohiko^{*1*2}, MATSUI Kazumi^{*2}, YAMADA Takahiro^{*2}

椅子の接合部の強度を評価する際、椅子全体の形状では荷重が分散するため、接合部が受ける荷重を正確に把握することは難しい。そこで本研究では、接合部の評価方法として、サブアセンブリを用いた方法を提案する。サブアセンブリは、着目する変形に関連する部材のみを組み合わせたものであり、対象を限定することで、各部材の機能や相互作用をより明確に把握できる。検証のため、椅子形状とサブアセンブリに荷重を加え接合部のひずみを比較した。結果、サブアセンブリを用いた方法は、椅子形状の評価を補完し、接合部に焦点を当てた強度評価方法として有効であることが示された。

1. 緒言

椅子の接合部は、構造の強度や耐久性に大きく影響を与える重要な要素である。従来の強度試験は、椅子全体の性能を評価する方法として有効であるが、荷重が分散するため、個々の接合部が受ける力を正確に把握することは困難である。

そこで本研究では、接合部に着目した評価方法を提案する。接合部ごとの強度特性を明らかにすることで、構造全体の信頼性向上を目指す。

2. 提案する評価方法

2.1 シミュレーション分野での評価の位置付け

CAEなどのコンピュータシミュレーションでは、現実世界の現象を適切に表現できているかを確認するために、シミュレーション結果の妥当性確認が必要である。妥当性確認では、実験によって実際の現象を把握し、シミュレーション結果と比較して、シミュレーションが現実の挙動を再現できているかを確認する。これは、対象の特性を把握し、挙動を適切に評価するという点で、製品評価試験とも共通する。

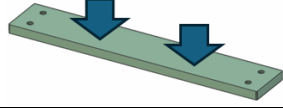
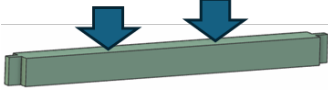
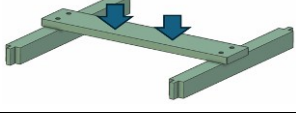
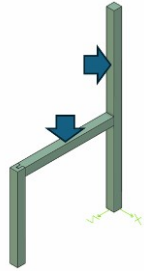
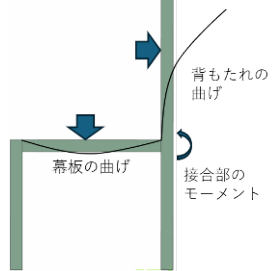
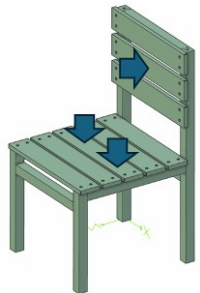
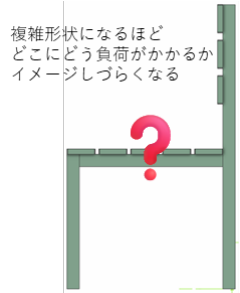
2.2 シミュレーションの標準規格に基づく提案

シミュレーションの妥当性を評価する標準規格の一つに、アメリカ機械学会のASME V&V 40が制定されている¹⁾。この規格は、医療機器向けであるが、内容は一般的なシミュレーションの枠組みを示しており、広く応用可能である。規格では、完成品をフルモデル、サブアセンブリ、部材、材料（物性値）の階層構造に分解し、各階層でシミュレーションモデルの妥当性を確認するボトムアップアプローチが推奨されている。これは単純なモデルから複雑なモデルへと段階的に進める方が物理的な解釈がしやすいためである。椅子に適用した場合の各階層でのモデルの例を表1に示す。フルモデルは椅子全体、サブアセンブリはいくつかの部材を組み合わせたもの、部材は単一のものを指す。サブアセンブリは、着目する変形に関連する部材のみを組み合わせたものである。対象を限定することで、各部材の機能や相互作用をより明確に把握できる。この考え方を椅子の接合部の評価手法に応用し、本研究ではサブアセンブリを用いた方法を提案する。

^{*1} 試験研究部

^{*2} 横浜国立大学大学院 環境情報学院

表1 椅子における階層構造と各階層での評価イメージ

階層	荷重位置	評価対象となる挙動	物理的解釈
部材			容易  困難
			
サブアセンブリ			
			
フルモデル			

3. サブアセンブリ評価の有効性

サブアセンブリによる評価の有効性を示すため、JIS S 1203:1998 7.2背もたれの静的強度試験²⁾を例に検証した。

3.1 実験方法

フルモデル（椅子）とサブアセンブリそれぞれに、背もたれへの荷重を加え、接合部周辺のひずみを比較した。

(1) 試験体

図2に試験体の形状とひずみの測定位置を示す。サブアセンブリは、前脚、幕板、後脚の3本を組み合わせた形状とした。フルモデルおよびサブアセンブリの接合部はホゾ接合とし、樹種はホワイトウッドとした。ひずみゲージは共和電業・KFGS-5-120-C1-11を用いた。試験体数は、フルモデル10脚、サブアセンブリ7脚とした。

(2) 試験方法

試験体が後方へ移動しないように後脚を高さ12mmのストッパに当てた。背もたれ当て板を介して、背もたれに5N/sの速度で破壊に至るまで荷重を加えた。なお、釣り合わせのため、フルモデルは座面の中央に座面当て板を介し、サブアセンブリは幕板の中央に小型座面当て板を介し、1,000Nの垂直荷重を加えた。

(3) 評価方法

ひずみの測定結果より、式(1)、(2)を用いて、ひずみの曲げ成分 $\varepsilon_{\text{曲げ}}$ 、軸成分(引張・圧縮成分) $\varepsilon_{\text{軸}}$ を求めた。背もたれの前側のひずみを ε_1 、後側のひずみを ε_2 とした。

$$\varepsilon_{\text{曲げ}} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) / 2 \quad \dots\dots (1)$$

$$\varepsilon_{\text{軸}} = (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) / 2 \quad \dots\dots (2)$$

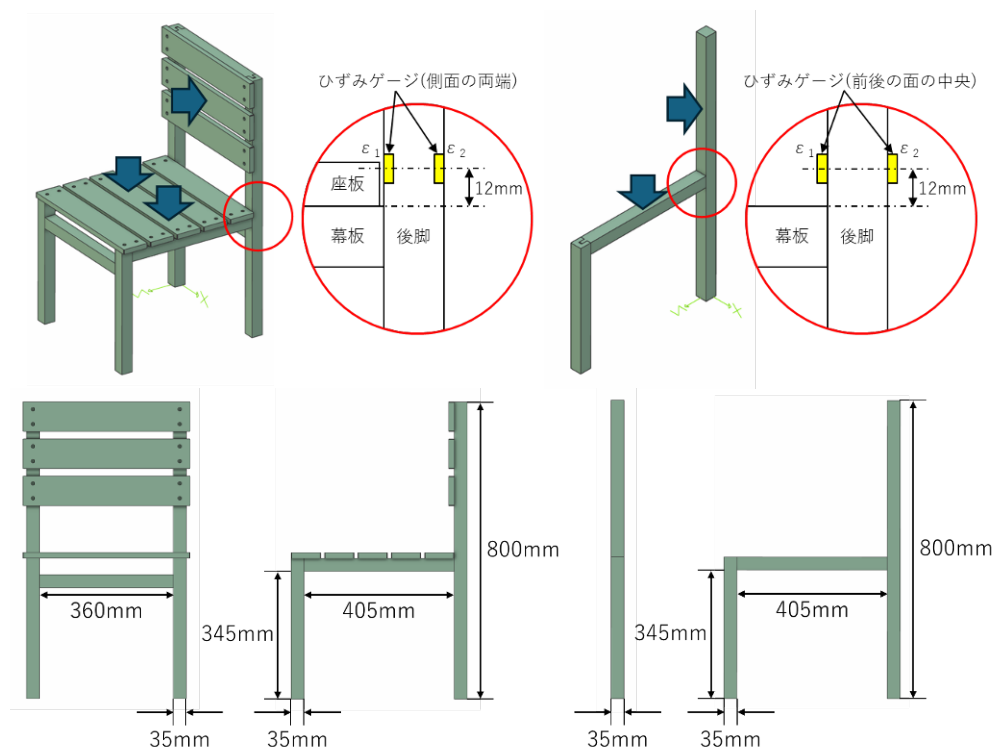
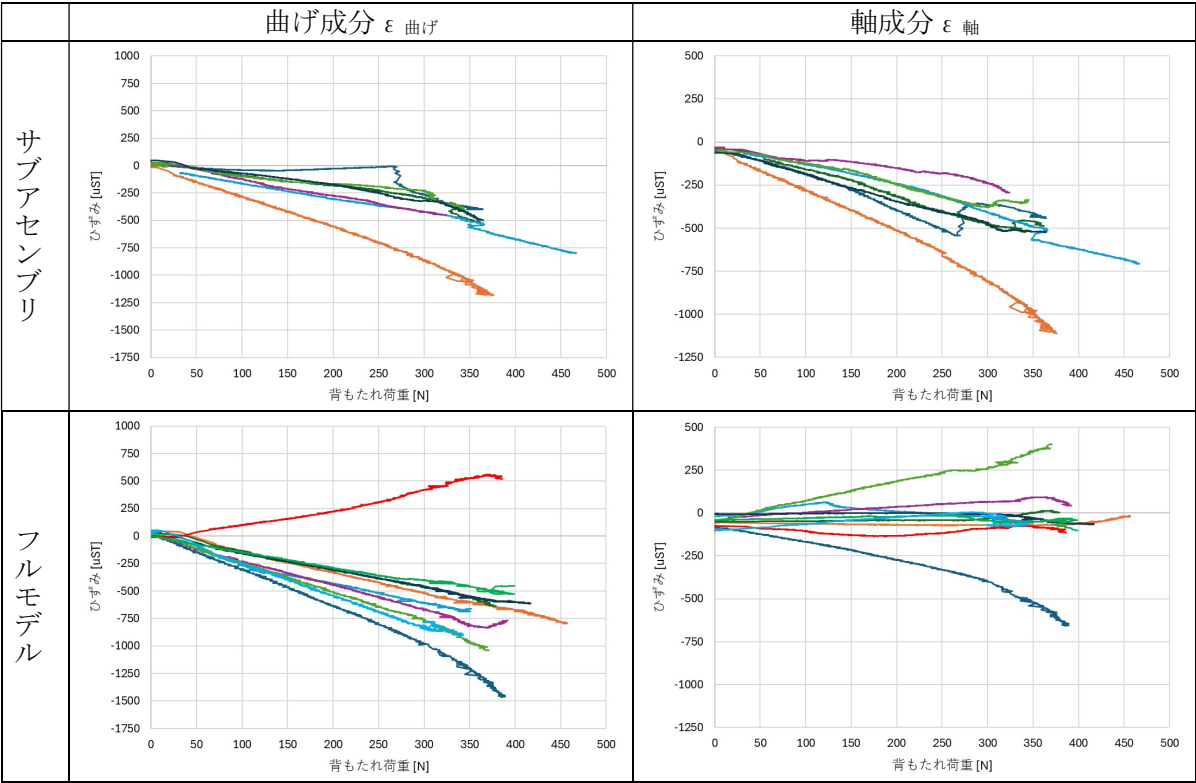


図2 試験体の形状とひずみの測定位置 (左：フルモデル、右：サブアセンブリ)

表2 ひずみの曲げ成分と軸成分の算出結果



3.2 実験結果

測定結果から算出した、ひずみの曲げ成分と軸成分のグラフを表2に示す。横軸は背もたれに加えた荷重であり、荷重開始から最大荷重までの範囲を示している。

3.3 検証

曲げ成分は、すべてのサブアセンブリおよび1体を除くすべてのフルモデルでマイナス方向に生じた。軸成分は、すべてのサブアセンブリでマイナス方向（圧縮方向）に生じたが、フルモデルでは2体を除き、ほとんど変化が見られなかった。なお、フルモデルで曲げ成分がプラス方向に生じた試験体の接合部にはヤニつぼが、軸成分に変化が見られた試験体の接合部には節が存在しており、これらの木材欠点が、通常とは異なるひずみ挙動を引き起こした要因であると考えられる。一般的に、椅子を製作する際には接合部にこのような欠点を使用しないため、これらの試験体は考察対象から除外する。

フルモデルでは軸成分に明確な変化が見られなかった理由としては、全体構造の拘束や周辺部材の影響により接合部に作用する力が分散されたことが挙げられる。その結果、軸成分のひずみが顕在化しにくくなったと考えられる。一方、サブアセンブリは接合部を含む局所構造のみで構成されており、接合部に集中する力の影響をより直接的に捉えることができたと考えられる。

以上より、サブアセンブリを用いた評価は、フルモデルでは捉えきれない接合部の挙動を把握できるため、接合部の強度を評価する方法として有効であると考えられる。ただし、曲げ成分の大きさは、サブアセンブリよりもフルモデルの方が全体的にやや大きい値を示しており、サブアセンブリのみで試験を行うことが最適とは言えない。サブアセンブリによる評価は接合部に焦点を当てた

ものであり、フルモデルでの評価を補完する役割を担うものであることを認識しておく必要がある。

4. まとめ

本研究では、椅子の接合部に着目した評価方法として、ASME V&V 40に基づいたサブアセンブリを用いた方法を提案した。実験による検証の結果、フルモデルとサブアセンブリでは荷重を加えた際の接合部のひずみが異なる挙動を示し、サブアセンブリを用いることで接合部の挙動をより明確に把握できる可能性が示唆された。このことから、サブアセンブリによる評価はフルモデルでの評価を補完し、接合部の強度を評価する方法として有効であると考えられる。

サブアセンブリを用いた評価により、接合部の詳細な特性が明らかとなり、設計や品質管理の向上、局所的な弱点の発見、新しい材料や接合方法の評価に繋がる可能性がある。また、評価を行った接合部と同じ形状の接合部を他の椅子に応用する際の指針にもなると考えられる。

今後は、異なる椅子形状や接合方法、荷重条件を対象にした検証を進め、評価方法の精度向上を検討していきたい。

謝辞

本研究の一部は、V&V40の例題を作る会の皆様と共同で行った。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) ASME V&V 40 2019, Assessing the Credibility of Computational Modeling through Verification and Validation: Application to Medical Devices, ASME, 2019.
- 2) JIS S 1203:1998, 家具—いす及びスツルー—強度と耐久性の試験方法, 1998.

オーク突板化粧材の変色抑制技術の開発 ソルビン酸を用いた変色抑制

伊藤国億*

Development of technology to suppress discoloration of oak veneer decorative wood
Discoloration suppression using Sorbic acid

ITO Kuniyasu*

かび汚染によるオーク突板化粧材の変色を抑制するため、微生物の増殖抑制作用のあるソルビン酸を使用し、その変色抑制効果を検証した。かび (*Eurotium amstelodami*) に対するソルビン酸の発育抑制試験を行った結果、0.1%濃度の培地で発育が抑制された。そこで、0.3~5.0%のソルビン酸希釈液を塗布した試験体に、*E. amstelodami*の孢子懸濁液を転写し、変色試験を行った。結果、1.0%以上の塗布で変色の抑制効果が確認された。また、本試験の菌接種方法やソルビン酸添加による色差などから、MDFを基材とするオーク突板化粧材には塗布濃度2.5%が適切であると考えられた。

1. 緒言

木製棚・戸棚やテーブルには寸法安定性や軽量性、コスト面がよく、高級感や美観に優れた突板化粧材がしばしば用いられる。突板化粧材は合板やMDF（木質繊維板）を基材として0.2~1.0mm程度の薄い木板（突板）を貼り付けた部材であるが、なかでもオーク材を突板とする化粧材は最も人気がある。オーク材は鉄分やアルカリ剤と反応して変色が起こりやすい材でもあるが、製造時の切削工程や塗装により鉄分やアルカリ剤との接触を避ける対策が確立されている¹⁻²⁾。

一方、これまでも化粧材の突板が暗色になる事例が散見されている。変色原因は使用環境におけるかびなどの微生物が水分を多く含んだMDFなどにおいて繁殖し、pHがアルカリ性に傾き、オーク突板のタンニン成分が暗色化すると推定されている³⁻⁴⁾。しかし、変色が生じるような使用環境が揃うと初めて偶発的に発生しているため、抗菌仕様や防湿対策などによる変色防止方法がどれほど効果的であるのか検証できていない。そのため、変色が生じる再現性のある試験方法が必要であった。

我々は変色材から分離培養したかびを用いて、

変色の再現が可能な環境条件などを明らかにし、変色再現性試験方法を確立した⁵⁾。また、変色はオーク突板化粧材に使用されるMDF等において、かびが増殖することに起因することを確認した⁶⁾。

変色抑制にはかびの増殖を抑制することが効果的である。一般に木材保存分野では、かびによる表面汚染に対して、チアゾール系、イミダゾール系、有機ヨード系などの防かび剤が使用されている⁷⁾。防かび剤は製材時のかび汚染による商品価値の低下を防ぐことを目的とし、多種類の汚染菌に効果を発現させるため、複数の防かび成分を混合した広い抗菌スペクトルを有する製剤が使用されている。しかし、近年の安全性や環境への配慮、また突板化粧材が屋内製品であることを考慮すると、木材用防かび剤以外の微生物抑制が必要である。

そこで、我々は微生物の増殖抑制効果のある食品保存料⁸⁾に着目した。食品衛生法で使用が認められている保存料はその静菌作用により微生物の増殖を抑制する。保存料の代表的なものとしてソルビン酸があり、魚肉練り製品やみそ漬けなどに使用する際の最大限度として、0.1~0.3%の濃度が基準となっている⁹⁾。

本研究では、ソルビン酸を用いたオーク突板化粧材の変色抑制効果について検証した。

* 試験研究部

2. 実験方法

2.1 ソルビン酸希釈液の調製

ソルビン酸 (>99.0% HPLC, 東京化成工業(株)社製) をエタノール (特級、富士フィルム和光純薬(株)社製) で0.3, 1.0, 2.5および5.0 % (w/v) に希釈した。

2.2 ソルビン酸のかび発育抑制試験

試験用培地は以下のように調製した。DG18培地18mlに1.0%ソルビン酸2mlを加え、次いで1N塩酸または1%炭酸ナトリウムを用いて培地のpHを4、5、6、7にそれぞれ調整し、オートクレーブ処理を行った。対照として、ソルビン酸を加えずに各pHに調整した無添加培地を作成した。また、予めオートクレーブ処理した培地にソルビン酸の代わりに1.0%酢酸を添加した培地 (pH5) も調製した。

試験はDG18培地上に前培養した供試菌株 *E. amstelodami* (NBRC 5721) の菌叢をコルクボーラーで打ち抜き、打ち抜いた寒天片を試験用培地の中央に接種し、1週間培養した。培養後、シャーレの裏に直行する線を引き、発育した菌叢の直径2点をノギスで計測して平均値を算出した。菌叢サイズからソルビン酸による *E. amstelodami* の発育抑制率を次の式に従って算出した。

$$\text{抑制率(\%)} = \frac{(\text{無添加時の菌叢サイズ} - 9^{\text{※}}) - (\text{添加時の菌叢サイズ} - 9)}{(\text{無添加時の菌叢サイズ} - 9)} \times 100$$

※打ち抜いたときの菌叢サイズ

2.3 試験体の調製

試験体は酢酸ビニル系接着剤を用いてMDF (Uタイプ、9mm厚) とホワイトオーク化粧シート (厚さ約0.3mm、裏面に和紙貼り) を熱圧着し、30mm角にカットした。

ソルビン酸希釈液を試験体 (n=10) の全面に刷毛塗りし、室内に静置して風乾した。なお、試験体の側面、MDF裏面および化粧面ごとに、ソルビン酸希釈液の塗布前後の重量差からソルビン酸添加量 (g/m²) を算出した。次いで化粧面を分光測色計 (SE7700: 日本電色工業 (株) 社製) を用いて測色した後、PE袋に入れてシーリングし、 γ 線照射 (10kGy) に供した。

2.4 変色試験

変色試験方法は先行研究⁶⁾と同様の方法で行った。前培養した *E. amstelodami* の培地から約10⁶個/mlとなるように単一孢子懸濁液を調製した。この孢子懸濁液を培地に接種し、試験体に孢子を転写する培地を調製した。

2.3節で調製した試験体 (n=5) を転写用培地に載せ、試験体の側面1か所に孢子を転写した。転写した試験体は硫酸カリウム飽和塩の入った滅菌済み培養瓶に入れ、25℃で最大35日間静置した。試験は7日ごとに試験体を1個ずつ取り出し、化粧面を測色して試験前後の色差 ΔE^* を求めた。また、ソルビン酸無塗布の試験体 (以降、無添加試験体とする) も同様に試験した。

3. 結果と考察

3.1 ソルビン酸のかび発育抑制試験

各培地における *E. amstelodami* の菌叢サイズと発育抑制率を表1に、pH5における酢酸添加培地およびソルビン酸添加培地での発育の様子を写真1に示す。

無添加培地では、pH4やpH7に比べてpH5およびpH6において発育が良好であった。一般的に微生物はpHに影響を受け、かびは増殖可能なpH範囲が広く、弱酸性に最適pHがある⁸⁾。本試験に用いた *E. amstelodami* においても、この知見と一致した。

ソルビン酸を添加した培地ではpHが低いほど発育が抑制され、pH4およびpH5においては抑制率が90%以上と高く、*E. amstelodami* に対するソルビン酸の発育抑制効果が認められた。一方、酢酸を添加した培地 (pH5) ではソルビン酸添加培地に比べて、菌叢サイズが40mmと大きく、抑制率は21%と低かった。保存料の静菌作用は、非解離分子が菌体内に浸透して作用を発現すると言われている¹⁰⁾。ソルビン酸と酢酸の酸解離定数はそれぞれKa値1.7 $\times 10^{-5}$ 、1.8 $\times 10^{-5}$ であり、同程度の非解離状態にもかかわらず、*E. amstelodami* に対する抑制効果に相違がみられた。松田ら¹¹⁾は有機酸類の抗菌作用について、細菌やかび、酵母など様々な微生物に対する最小発育濃度をpHごとに検証し、ソルビン酸が酢酸よりも高い抑制作用があることを報告しており、本結果はこれと一致した。ソルビン酸の疎水性が影響した可能性が考えられる。

表1 各培地における *E. amstelodami* の発育抑制

pH	菌叢サイズ(mm)		抑制率(%)
	無添加培地	ソルビン酸添加培地	
4	35	9	100
5	48	13	90
6	46	19	73
7	36	28	30

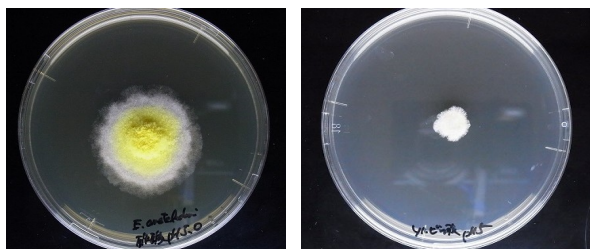


写真1 有機酸添加培地における*E. amstelodami*の発育（左：酢酸添加培地、右：ソルビン酸添加培地）

3.2 変色試験

ソルビン酸を添加した試験体表面の変色試験前後の色差を図1に、無添加試験体および1.0%ソルビン酸を塗布した試験体の試験後の外観を写真2に示す。なお、写真の無添加試験体は化粧面の菌糸等をキムワイプで拭き取った後のものである。図1に示すように、 ΔE^* は7日目ではどの試験体も小さく、試験体間の差はほとんどなかったが、無添加試験体は14日目以降に次第に大きくなり、写真2に示すように暗色化が確認された。実体顕微鏡で試験体を観察したところ、7日目にはすでに化粧面全体に菌糸が覆っていた。

0.3%ソルビン酸を塗布した試験体では、7日目には孢子懸濁液の転写面にのみ菌糸が認められ、無添加試験体に比べてかびの発育が弱かった。しかし、14日目には ΔE^* が小さかったものの、化粧面全体に菌糸が覆い、21日目以降は ΔE^* が次第に大きくなり、無添加試験体と同じ程度まで変色した。先の研究⁶⁾では、かびの増殖が化粧面に及ぶ程度に進行した1週間以降に ΔE^* が次第に大きくなる傾向が確認されており、本試験も同様の変色性が認められたことから、変色の抑制効果が十分でなかったと判断される。

一方、1.0~5.0%ソルビン酸を塗布した試験体では全ての試験体で菌糸の発育が認めなかった。また、 ΔE^* は全て5未満と小さく、変化もほとんどなく、写真2に示すように変色は認められなかった。よって、ソルビン酸濃度1.0%以上で変色抑制効果が確認された。

各試験体のソルビン酸添加量を図2に示す。ソルビン酸の添加量は塗布面の性状に影響され、試験体側面の添加量が最も多くなった。本試験では側面に孢子懸濁液を転写しているため、側面の添加量がかびの増殖抑制に与える影響が大きいと考えられる。居住空間においては浮遊するかびの孢子が製品のあらゆる面に接触する可能性があるため、

ソルビン酸の添加量が少ない傾向にあった化粧面やMDF裏面への添加量も考慮する必要がある。従って、1.0%ソルビン酸を塗布した試験体側面の平均添加量2.2g/m²を基準とすれば、2.5%ソルビン酸の

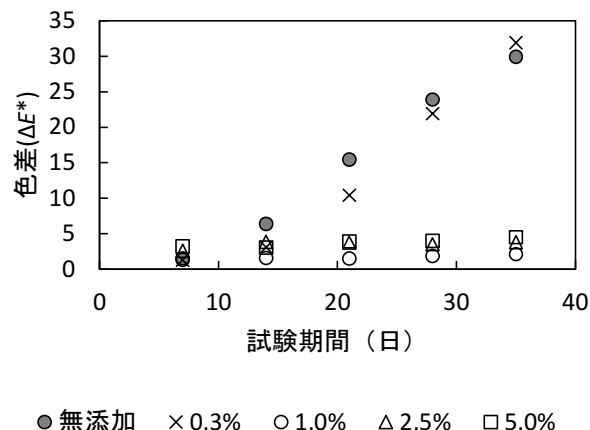


図1 変色試験によるソルビン酸添加試験体の色差



写真2 変色試験後の試験体
(上：無添加試験体、下：1.0%ソルビン酸添加試験体、左から順に7, 14, 21, 28, 35日目)

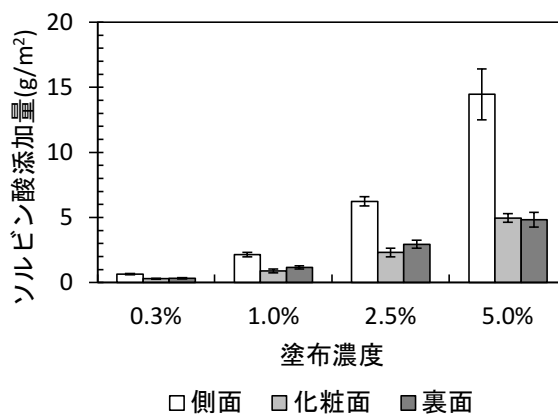


図2 各試験体のソルビン酸添加量

表2 ソルビン酸添加による試験体の色変化

ソルビン酸濃度(%)	0.3	1.0	2.5	5.0
ΔE^*	0.7	0.6	1.8	3.8
ΔC^*	0.5	0.4	-1.1	-2.9

塗布（化粧面およびMDF裏面への平均添加量はそれぞれ2.3、2.9g/m²）が推奨される。

また、ソルビン酸希釈液の塗布前後における試験体化粧面の色差および彩度差を表2に示す。ソルビン酸添加量が多くなるほど、 ΔE^* は大きく、 ΔC^* は小さくなる傾向があり、5.0%ソルビン酸の塗布では表面にソルビン酸の析出が観察され、無添加に比べてくすんで観察された。これらのことから、ソルビン酸希釈液の濃度は2.5%程度が適切であると考えられる。

なお、ソルビン酸と同様に保存料としてソルビン酸カリウムが知られている。ソルビン酸は水溶性（20℃、1.6g/L）が低く、希釈溶媒にエタノールを用いるため、濃度管理には注意が必要である。一方、ソルビン酸カリウムは水溶性（20℃、1,400g/L）が高く、濃度管理が容易である。そのため、ソルビン酸カリウムによる変色抑制を検討したが、以下の理由により変色抑制には適さないことが分かった。蒸留水およびエタノールのMDF側面への塗布量を測定した結果、蒸留水の塗布量（51g/m²、10個平均値）はエタノール塗布量（340g/m²）の0.15倍と少なかった。従って、ソルビン酸を用いた変色抑制効果に推奨される濃度2.5%を基準とすると、17%（2.5%÷0.15倍）のソルビン酸カリウムを塗布する必要がある。さらに、表1に示すようにソルビン酸カリウムも中性域での発育抑制が低下するため、pH未調整（pH7付近）ではさらに濃度を高める必要があり、防かび剤としてこのような濃度域での使用は適切ではない。pH未調整に比べ、pH調整した場合では発育抑制効果が高まるため、pH5のソルビン酸カリウム希釈液を調製したが最大でも0.8%濃度であった。そのため、この水溶液（推定0.1%ソルビン酸塗布相当）では添加量が不足し、変色試験では0.3%ソルビン酸を塗布した試験体と同様にかびの増殖傾向を示し、変色抑制効果が認められなかった（データ非掲載）。

4. まとめ

食品分野で微生物増殖を抑制する保存料として使用される安全性の高いソルビン酸を用いて、オーク突板化粧材の変色抑制効果を検証した。まず、

変色の起因となる*E. amstelodami*に対するソルビン酸の発育抑制試験を行った結果、0.1%濃度の培地において発育が抑制された。ソルビン酸のような有機酸はそのpHや非解離分子が抑制効果に影響し、pH5以下で抑制率90%以上と高かった。

次に、突板化粧材に0.3～5.0%濃度に調製したソルビン酸を塗布した試験体を用いて、かびの増殖に伴う変色試験を行った。1.0%以上のソルビン酸を塗布した試験体ではかびの発育が認められず、 ΔE^* は全て5未満と小さく、ほとんど変化しなかったことから、変色抑制効果が確認された。また、試験体表面の性状によりソルビン酸の添加量が多かった側面に菌を転写したこと、さらに5.0%ソルビン酸を塗布した試験体表面がくすんだことを考慮すると、2.5%ソルビン酸の使用が適切であると考えられた。

参考文献

- 1) 武南勝美：木材の化学汚染について，材料，Vol. 169, No. 16, pp. 784-789, 1967.
- 2) 川上英夫：木材の変色汚染と防除，林産試だより，pp. 1-7, 1981年5月号.
- 3) 平林 靖：ナラ突き板を用いた木質材料の変色およびその防止について，林産試だより，2011年7月号.
- 4) 平林 靖：ミズナラ突き板単板化粧 MDF の変色-その原因と対策-，林産試だより，2015年3月号.
- 5) 伊藤国億：オーク突板化粧材の変色条件の解明，越山科学振興財団研究助成，2022年度.
- 6) 伊藤国億：オーク突板化粧材の変色抑制技術の開発(第1報)，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 26, pp. 35-38, 2024.
- 7) 松村賢太：木材保存学入門改訂4版，(公社)日本木材保存協会，pp. 113-120, 2018.
- 8) 藤井建夫編，食品微生物学の基礎，講談社 pp. 113-131, 2024.
- 9) 食品、添加物等の規格基準，厚生省告示，S34. 12. 28 第 370 号.
- 10) 野本正雄ら：ソルビン酸の抗菌力に及ぼす培地の pH の影響について，日本農芸化学会誌，Vol. 29, No. 10, pp. 805-809, 1955.
- 11) 松田敏生ら：有機酸類の抗菌作用-各 pH における最小発育阻止濃度の検討-，日本食品工業学会誌，Vol. 40, No. 10, pp. 687-702, 1994.

曲げ木加工後の曲げ戻りと過進行の原因解明及び対策に関する研究

石原智佳*

Research into the causes and countermeasures of increases and decreases in bending radius after bending wood processing

ISHIHARA Chika*

既往の研究において、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。椅子の背板部材として仕上げた後、製品に組み立てるまでに養生期間をもうけるが、この間に曲げ木の形状が変化することが課題となっている。本研究において、曲げ木の形状が変化する原因を調査し、形状固定時の温度と、その後の養生環境に関する要素を見出した。ひとつに、形状固定の温度は、広葉樹の軟化温度である85℃以上が望ましいこと、さらには、養生時の含水率変化の範囲を、家具に適した6%に維持することで、しっかりと形状固定できた曲げ木に対しては、曲げの戻りや進行がないまま、所定の形状を維持できるといえる結果が得られた。

1. 緒言

岐阜県飛騨地域は木製家具の産地であり、ここで作られた一定の品質を備えた家具は「飛騨の家具®」と認定され、10年間の保証がある。飛騨の木製椅子は「曲げ木」を特徴とするものが多い。この曲げ木の加工では、木材に多くの水分を含ませて高温にすることで軟化させ、型に沿って曲げた後に乾燥して形状を固定する。

乾燥後、製品に組み立てられるまでの養生期間において、曲げが戻って外へ広がったり（曲げ戻り）、曲げが過度に進行して内へ入ったり（過進行）することがある。さらには、製品として出荷後、使用環境の中で変形が徐々に蓄積し、製造から数年以上が経過した椅子がクレーム品としてメーカーに戻されることもあり、曲げ戻りと過進行の現象の原因解明及び対策が課題となっている。

本研究において曲げ木の形状変化の原因を解明することで、曲げ木の品質のさらなる向上へ寄与することを目指す。

2. 実験方法

2.1 供試材

良好な曲げ木加工が可能なブナの天然乾燥材を供試材とし、養生時の温湿度環境による曲げ木形

状の動きを観察した。常温環境下で数年間保管し、気乾状態になった板材から曲げ木用試験体を採用した。試験体寸法は板目材の場合、繊維方向(L) 260mm×放射方向(R) 10mm×接線方向(T) 30mm、柃目材の場合、繊維方向(L) 260mm×放射方向(R) 30mm×接線方向(T) 10mmとした。

供試材の含水率は、全試験終了後に全乾処理を行った際の重量を全乾重量として算出した。

2.2 曲げ木材の作成

曲げ半径（以下Rと表記、単位はmm）150mm及び60mmの2種類で曲率の影響を比較した。曲げ木の試験体は含水率（以下MCと表記）20%になるまで水蒸気で蒸煮処理したのち帯鉄に固定し、図1及び図2のように曲げ型に沿わせて曲げたのち、表1に示す温度で24時間乾燥させて曲げ形状を固定することで作成した。

曲げ木の形状固定時の乾燥温度は、全乾条件の105℃、広葉樹の軟化温度に近い85℃、長時間乾燥時に設定される60℃、及び低温乾燥時の40℃とし、これらの温度が、形状固定後の養生過程での曲げ木形状の動きに影響を及ぼすか、またその程度を比較することを目的とした。乾燥は図3に示すように、所定のRを保持するために治具に固定して、所定温度に設定した乾燥器内で行った。

乾燥後に家具用材の目安MCとされる7%にコンディショニングするため、30℃52%相対湿度下で

* 試験研究部

調湿した。なお、コンディショニングは治具固定したまま行う。この様子は図4に示すように、密閉容器に、循環型温湿度制御装置（AP-750MVK-E1 オリワ(株)製）から所定の温湿度の空気を送り調湿することで行った。

2.3 養生の条件

コンディショニング以降、曲げ木の養生は形状固定用治具を外した状態で行った。養生過程の温度・湿度条件を表4に示す。

3. 結果及び考察

3.1 曲げ木形状の動き（R150）

ここでは表1に示す条件ごとに準備した曲げ木について、乾燥による形状固定後の養生過程における曲げ木形状の動きを比較する。それぞれの試験体の乾燥固定後及び、コンディショニング後の含水率と曲げ半径をそれぞれ表2、表3に示す。

表2に示すとおり、形状固定のための乾燥温度が105℃の材1は、温度の影響を受けて、所定のR150よりも内へ入った。また、コンディショニングでさらに内へ入る挙動が見られた。同様の挙動は製造現場でも見られ、型に入れて養生する際の吸湿に伴い「曲げがさらに内へ入る」と考えられる。

乾燥温度が85℃の場合（材2）、24時間ではMC8%までにしか乾燥せず、元の半径より広がった曲げ形状で固定された。その後のコンディショニングでR150に保持したままMC7%に乾燥すると、治具を外してもR151を維持できた。

一方、乾燥温度が60℃（材3）と40℃（材4）の場合、乾燥及びコンディショニングでは元の曲げ形状に調整することができなかった。

次にコンディショニング後に行った治具なし状態での養生過程での曲げ木形状の動きについて検討した結果を表5に示す。すなわち、表2の養生5日後以降の含水率と曲げ半径の推移を示している。

材1について、養生過程1の吸湿において5日後、MCは同じままで形状が元のR150に戻った。このまま水分変化がない場合、3週間にわたり、同じ形状を保った。その後、養生過程2に環境を変え、7日間でMC8%まで吸湿した際、R165に曲げ戻りが起きた。そこで、養生過程3において再度7日間乾燥させ、MC6%に戻ると形状も元のR150に戻った。引き続き、吸湿・乾燥を繰り返すと、MCに応じた形状になることが判明した。養生過程4においてMC約10%まで吸湿した場合にはかなり曲げ戻りし、その後は全乾状態近くまで乾燥しても元の形状に戻らないなど、含水率による曲げ木形状の挙動が判明した。



図1 R150に曲げる様子



図2 R60に曲げる様子



図3 乾燥中の形状固定の様子



図4 養生の様子

表1 曲げ木の作成条件

材No.	R (mm)	乾燥固定	
		温度 (℃)	時間 (h)
1	150	105	24
2		85	
3		60	
4		40	
5	60	105	
6		85	
7		60	
8		40	

表2 R150材 乾燥固定からコンディショニングまでの曲げ木の状態

材	曲げ 半径 R (mm)	乾燥 温度 (℃)	乾燥固定 24時間後 MC (%)・R (mm)	治具固定 養生5日後 MC・R
1	150	105	0.3・144	6・135
2		85	8・157	7・151
3		60	8・154	7・154
4		40	8・159	8・160

表3 R60材 乾燥固定からコンディショニングまでの曲げ木の状態

材	曲げ 半径 R (mm)	乾燥 温度 (℃)	乾燥固定 24時間後 MC (%)・R (mm)	治具固定 養生2日後 MC・R
5	60	105	0.3・55	6・55
6		85	0.8・56	6・62
7		60	6・61	7・63
8		40	6・72	8・76

表4 養生過程の温度・湿度条件

過程	1	2	3	4	5
	吸湿	吸湿	乾燥	吸湿	乾燥
要期間	5日	7日	7日	7日	24時間
温度 (℃)	30	30	30	30	105
湿度 (%)	52	60	50	65	0

材2についても、コンディショニング後の同程度の範囲での含水率変化では同じ形状を繰り返すことは材1と同様だった。

一方、材3と材4については、乾燥及びコンディショニングでは元の曲げ形状に調整することができなかった。含水率の繰り返し変化においても、吸湿過程を経るごとに曲げ戻りが進行していった。したがって、広葉樹の軟化温度より低い温度での乾燥は形状固定に適さないといえる。

以上のことより、乾燥固定温度については、105℃あるいは85℃が望ましいといえ、85℃の場合は固定後の含水率が6%以下になるように、時間を延ばすことで初期の養生が吸湿になるので、材1と同じ形状の動きになると考えられる。

治具固定がない養生期間でも、元の形状を維持する含水率に保持できれば形状が安定し、水分の出入りを防ぐ塗装を行うことで、極端な曲げ形状の変化を抑制できると考えられる。

日常的な使用に伴う経年劣化で塗装効果が低減している場合などにおいて、夏場の高温多湿環境下では吸湿が進行してしまい、表5からもわかるように、元の形状に戻れない状態になってしまうことも推測される。

表5 R150材 養生過程における曲げ木の形状推移

過程	1	2	3	4	5
材	MC R	MC R	MC R	MC R	MC R
1	6 150	8 165	6 150	9.7 172	3 157
2	7 151	9 157	6 151	10 171	3 160
3	7 165	9 187	6 170	10 186	3 177
4	8 164	10 182	6 178	10 198	3 183

3.2 曲げ木形状の動き (R60)

表1に記載した供試材をR60に加工後、表3の乾燥条件で形状固定及びコンディショニングを行った。その後は表4の条件で養生し、この過程における曲げ木形状の動きを表6に示す。

いずれの試験体もコンディショニングにおいて吸湿した。この際、105℃乾燥固定の材(材5)のみが所定のR60よりも内へ入った状態で仕上がった。85℃乾燥固定の材(材6)でもコンディショニングにおいて、かろうじてR60と大差ない形状を保持した。しかし、約10%まで吸湿したあとは元の形状

表6 R60材 養生過程における曲げ木の状態推移

過程	1	2	3	4	5
材	MC R	MC R	MC R	MC R	MC R
5	6 60	9 76	6 60	9.7 83	3 64
6	7 62	9 75	7 62	9.9 75	3 67
7	7 65	9 70	7 63	10 82	3 73
8	8 77	10 80	6 76	11 82	3 72

に戻らず、R150の材と同様の挙動をとった。また、60℃（材7）と40℃（材8）の形状固定についても、R150と同様に難しかった。

3.3 曲率の影響

同じ乾燥固定温度で仕上がったR150の材1とR60の材5の曲げ木を比較すると、同程度の含水率変化幅でもR60のほうが元形状からの変化が大きいように見える。これは曲率が小さいほうが、曲げ加工時及び乾燥固定時に材を押す力が大きく、乾燥後に材内に残存する応力が大きいためだと考えられる。この残留応力を小さくすることで、含水率変化に伴う形状変化を低減できる可能性がある。

4. まとめ

2種類の曲率半径に曲げ加工したブナの曲げ木について、乾燥による形状固定及びコンディショニング後の養生過程における曲げ形状の変化について原因を考察した。

(1)形状固定のための温度は、広葉樹の軟化温度である85℃以上が望ましいといえる結果がでた。
 (2)養生時の含水率変化の範囲を、家具に適した6%MCに維持することで、しっかりと形状固定できた曲げ木に対しては、曲げの戻りや進行がないまま、所定の形状を維持できるといえる。
 (3)含水率変化に伴う形状変化は、曲率が小さいほど曲げ時にかかる応力が大きいため、残留している応力が大きく、養生時の水分の移動による膨潤・収縮をより大きなものになると考えられる。

なお、柾目面の試験体についても、板目面と同様の結果であったことから、木目の影響はないと考えられる。ただし、木目は曲げやすさや、曲げ強さには影響を及ぼす。

謝辞

本研究は「一般財団法人 越山科学技術振興財団」の助成を受けたものです。

小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第3報） 国産広葉樹の異樹種集成板の寸法安定性と表面硬さ及び 表層PETラミネート加工の効果

今西祐志*, 足立隆浩*, 長谷川良一*, 沼澤洋子*

Development of Technology for Effective Utilization of Small-Diameter Hardwood Lumber (III) Dimensional Stability and Surface Hardness of Mixed-Species Composition Glued Laminated Board of Japanese Hardwoods and the Effect of Surface Layer PET Lamination

IMANISHI Hiroshi*, ADACHI Takahiro*, HASEGAWA Ryoichi*, NUMAZAWA Yoko*

国内の小径広葉樹材を有効利用するための技術開発として、コナラ×センダン、ホオノキ×ハンノキの組み合わせで幅はぎ接着した異樹種集成板を作製し、寸法安定性及び表面硬さを調査した。また、板の表層に厚さ1mmのPETシートを積層接着する表層PETラミネート加工の効果を評価した。その結果、表層PETラミネート加工による寸法安定性の向上、表面硬さの増大及びばらつきの低下が認められ、これらの効果は木材物性と密接な関係にあることが分かった。

1. 緒言

木製家具や内装材の原料である広葉樹材は、その8割以上が北米、欧州等からの輸入材である。このような状況に対して、世界的な資源の減少と獲得競争による価格上昇、ウッドショックや地政学リスクに伴う流通量や価格の不安定化、企業のSDGs達成のため、国内の広葉樹材の活用が検討されている。しかしこれらの広葉樹材は、量的なまとまりがなく比較的小径で、樹種も多様である。したがって、利用にあたっては異樹種での接着集成が欠かせないと考えられるが、温湿度負荷に対する寸法安定性や表面硬さのばらつきなど、実用面で必要な特性が解明されていない。

本研究では、コナラ、センダン、ホオノキ、ハンノキの4樹種を取り上げ、それらを異樹種同士で幅はぎした異樹種集成板を作製し、実用上の問題点の有無などを調査している^{1,2)}。本報では、異樹種集成板とその表層にPETを積層接着した板について、温湿度負荷に対する寸法安定性及び表面硬さを調査した結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 試験体の作製

供試材はコナラ (*Quercus serrata*)、センダン (*Melia azedarach*)、ホオノキ (*Magnolia obovata*)、ハンノキ (*Alnus japonica*) の気乾板材で、これらから50(幅)×約2000(長さ)×20(厚さ)mmのラミナを切り出した。コナラとセンダン、ホオノキとハンノキの組み合わせで、各樹種のラミナを交互に並べて水性高分子イソシアネート系接着剤（株式会社オーシカ、鹿印ピーアイボンド TP-111）により幅はぎ接着して400(幅)×約2000(長さ)×20(厚さ)mmの異樹種集成板をそれぞれの組み合わせで4枚、合計8枚作製した。各4枚のうち2枚には両面に厚さ1mmのPETシートを積層接着した。なお、幅はぎ時には、温湿度負荷による反り変形が大きくなるようなラミナ配置とした³⁾。

2.2 寸法安定性及び表面硬さの評価

2.2.1 温湿度負荷試験

2樹種を組み合わせたそれぞれの幅はぎ板から400(幅)×900(長さ)mmの試験体を切り出した。図1に試験体の外観を示す。試験体数は試験体作製の各条件で3である。

試験体に温湿度負荷をかけて、標点間長さと標

* 試験研究部

点間中央の矢高を測定して反り率を算出した。温湿度設定と荷重時間は以下のとおりである。

- [40℃・90%RH・48時間]
- [40℃・20%RH・48時間]
- [40℃・90%RH・48時間]
- [40℃・20%RH・48時間]
- [40℃・48%RH・48時間] (終了)

2.2.2 表面硬さ試験

2樹種を組み合わせたそれぞれの幅はぎ板から40(幅)×40(長さ)mmの試験体を切り出した。この時、試験体中央にはぎ部が位置するよう留意した。試験体の外観を図2に示す。試験体数は試験体作製の各条件で8個である。

木材の試験方法 (JIS Z 2101⁴⁾) の表面硬さ (ブリネル硬さ) の測定により評価した。図2に示す位

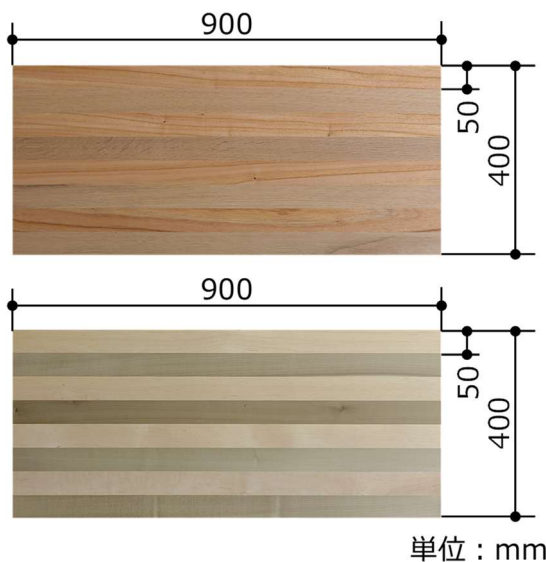


図1 温湿度負荷試験体の外観
(上：コナラ×センダン，下：ホオノキ×ハンノキ)

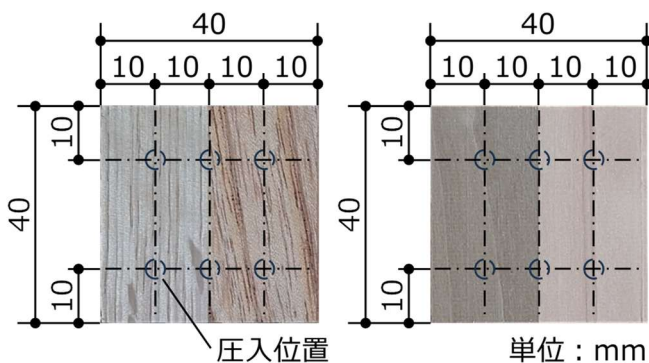


図2 表面硬さ試験体の外観
(左：コナラ×センダン，右：ホオノキ×ハンノキ)

置の試験体両面に、半径5mmの鋼球を0.5mm/minの一定速度で試験体に圧入した。圧入深さが1/πmmに達したときの荷重を測定し、これを10で除して表面硬さを求めた。

3. 結果と考察

3.1 温湿度負荷に対する寸法安定性

矢高は幅方向に3箇所、長さ方向に1箇所、対角方向に2箇所を測定した。図3に矢高の測定位置を示す。

図4は、コナラ×センダンの幅はぎ板について、

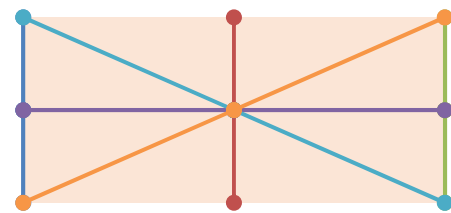


図3 矢高の測定位置

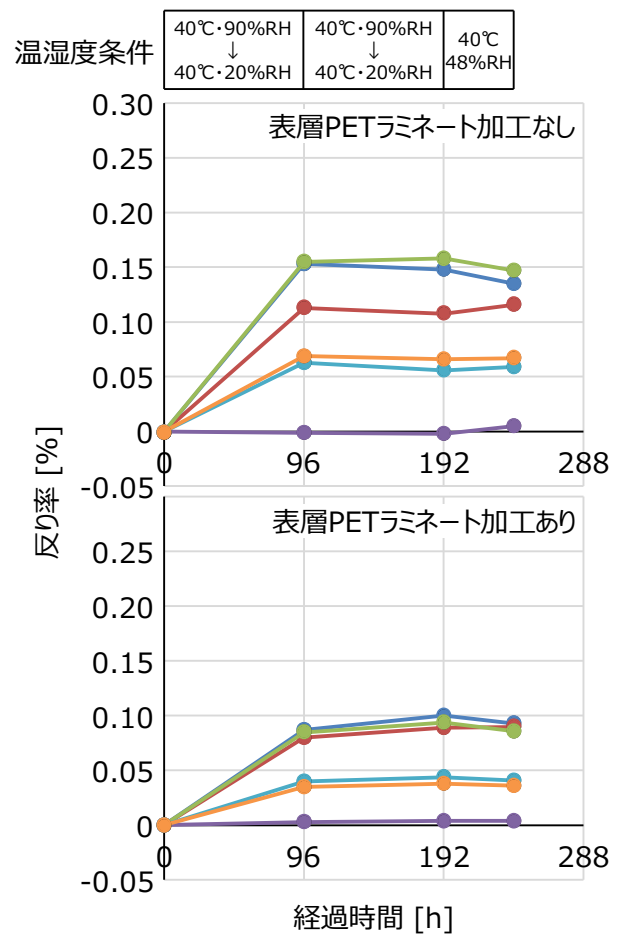


図4 反り率の経時変化 (コナラ×センダン)
(測定位置は図3を参照)

2.2.1項で示した温湿度設定と負荷時間に対する反り率の経時変化を示したものである。各プロットは3試験体の結果の平均値である。表層PETラミネート加工（以下、表層PET）の有無に関わらず、反り率の大小は長さ方向＜対角方向＜幅方向の順であった。表層PETなしの場合、幅方向の反り率は0.11～0.16%で、これは表層PETを施すことにより0.08～0.10%に低減した。

図5は、図4と同様に、ホオノキ×ハンノキの幅はぎ板について反り率の経時変化を示したものである。表層PETなしの場合の反り率は幅方向＞対角方向＞長さ方向の順であったが、表層PETありの場合には大小の順は明確でなかった。表層PETなしの場合、幅方向の反り率は0.21～0.26%で、これは表層PETを施すことにより0.00～0.03%に低減して、コナラ×センダンの幅はぎ板に比べて低減の効果が大きかった。これは、表層PETにより試験体の含水率変化とそれに起因する反り変形が抑制されたこ

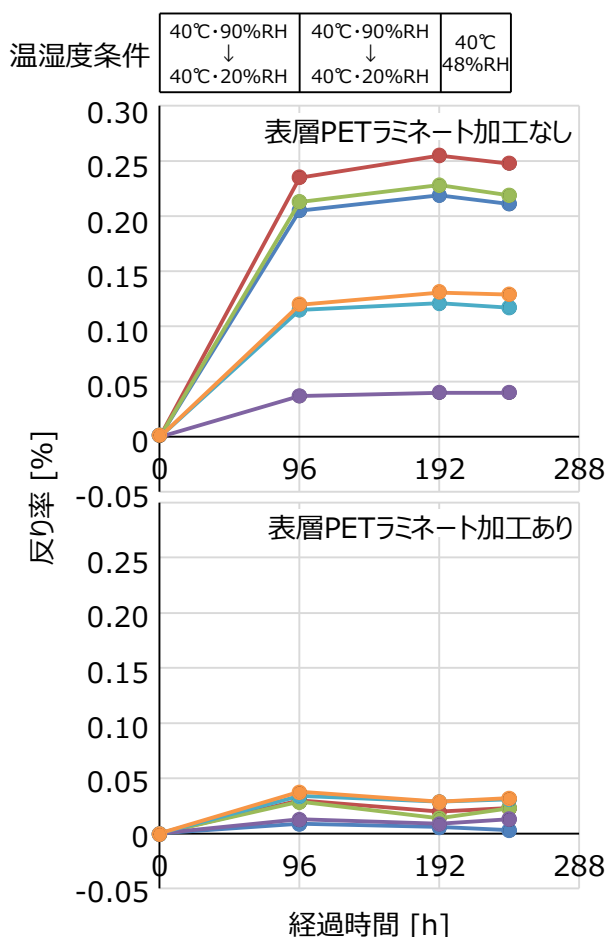


図5 反り率の経時変化（ホオノキ×ハンノキ）
（測定位置は図3を参照）

とに加えて、PETシートによる強度的な反り止め効果がより大きく現れたものと考えられる。

3.2 表面硬さ

図6は、コナラ×センダンの幅はぎ板について、部位ごとの表面硬さを示したものである。コナラ部とセンダン部とを比較すると、表層PETの有無に関わらず、密度の大きいコナラ部の方が表面硬さは大きかった。はぎ部の表面硬さはコナラ部とセンダン部の中間の値であった。表層PETなしの場合、全体の平均値は22.5Nで、変動係数は35.8%であった。表層PETを施すことにより平均値は33.9Nに増大し、変動係数は15.3%に減少した。

図7は、ホオノキ×ハンノキの幅はぎ板について、部位ごとの表面硬さを示したものである。ホオノキ部とハンノキ部とを比較すると、密度がほぼ同じ両者は、表層PETの有無に関わらず同等の表面硬さを示した。はぎ部の表面硬さはホオノキ部やハンノキ部よりやや大きく、これは接着層の影響によるものと考えられる。表層PETなしの場合、全体の平均値は14.2Nで、変動係数は28.7%であった。表層PETを施すことにより平均値は28.6Nに増大し、変動係数は16.0%に減少した。

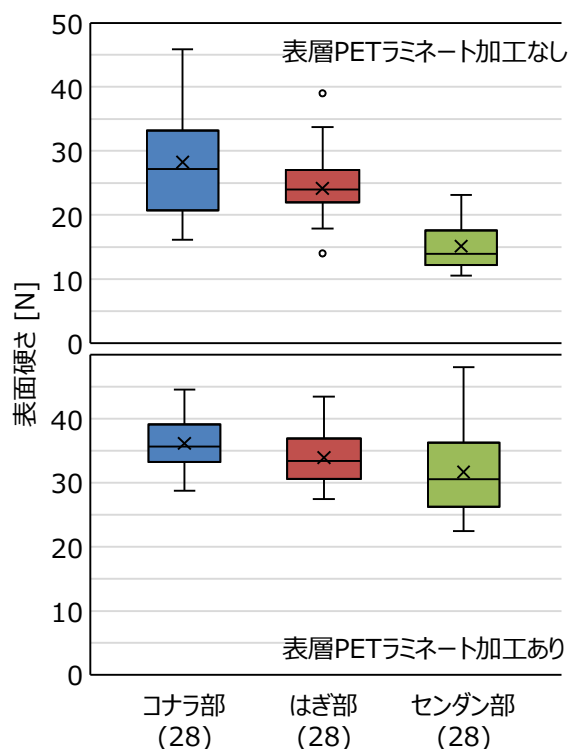


図6 表面硬さ（コナラ×センダン）
（横軸（ ）内はデータ数）

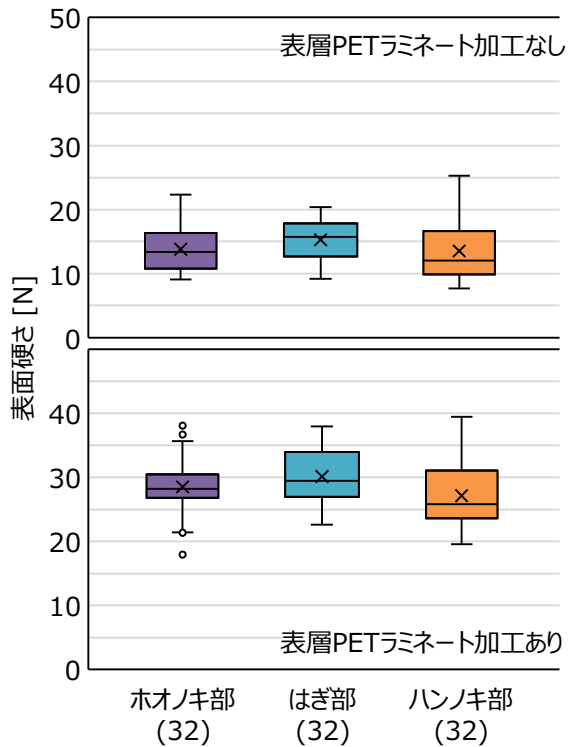


図7 表面硬さ（ホオノキ×ハンノキ）
（横軸（ ）内はデータ数）

4. まとめ

国内の小径広葉樹材のうちコナラ、センダン、ホオノキ、ハンノキの4樹種を取り上げ、コナラ×セ

ンダン、ホオノキ×ハンノキの組み合わせで異樹種集成板を作製した。また、一部の板には両面に厚さ1mmのPETを積層接着した。これら板材について、寸法安定性及び表面硬さを調査し、表層PETラミネート加工の効果の評価した。その結果、表層PETラミネート加工による寸法安定性の向上、表面硬さの増大及びばらつきの低下が認められた。これらの効果は、基材である木材の物性と密接な関係にあることが分かった。

謝辞

本研究は、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）の支援を受けて実施した。

参考文献

- 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) 村田明宏他：小径広葉樹材の有効利用技術の開発（第2報）、岐阜県生活技術研究所研究報告、26、pp. 39-45、2024.
- 3) 今西祐志：幅はぎ板の構成の特徴と幅反り変形の関係、木材工業、79(8)、pp. 296-301、2024.
- 4) JIS Z2101：木材の試験方法、一般財団法人日本規格協会、pp. 35-36、2009.

超音波伝播法による木材の非破壊評価（第2報）

今西祐志*

Nondestructive Evaluation of Wood by Ultrasonic Propagation Method (II)

IMANISHI Hiroshi*

木材の組織構造を非破壊的に評価するため、超音波試験を実施して伝播速度と組織構造との関連を調査した。超音波試験は木材の同一面に発信・受信センサーを設置する表面法により行い、センサーは木材表面に凹凸がある場合にも比較的容易に密着させることができる尖塔形のものを使用した。伝播方向が繊維に平行の場合、伝播速度は年輪や樹心からの距離との関連があることが推察された。また、伝播方向が繊維に直交の場合、測定位置の伝播速度への影響は比較的小さいことが分かった。

1. 緒言

視覚的な魅力が重要視される木製家具等の製造においては、木材内部の年輪の様子や節の有無などの情報を非破壊的に入手できれば非常に有益である。木材の材料特性などを把握する非破壊試験法は様々な種類がある¹⁾が、本報では木材加工の現場での取り扱いが比較的容易な、超音波を用いた非破壊試験に着目する。超音波を用いた木材の非破壊試験に関する報告は多数ある²⁻⁶⁾が、既往の研究で用いられているセンサーの多くは円柱形で、表面に凹凸がある木材とセンサーを密着させるのは困難である。本報では、木材表面に密着させることが比較的容易な尖塔形のセンサーを使用して、木材の同一面に発信・受信センサーを設置する表面法による超音波試験を実施し、伝播速度と組織構造との関連を調査した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

超音波試験にはナラ (*Quercus serrata*) の気乾材を用いた。試験体寸法は100×100×30mmで、試験体数は板目材と柃目材でそれぞれ10である。全試験体の平均含水率は11.5%である。

2.2 超音波試験

本報で使用した測定機器は、振動数が54kHzの超音波パルスを発信センサーから繰り返し周波数

5Hzで発信し、受信センサーで感知した波形を記録するものである。使用したセンサーは、試験体と接触する部分が直径4mmの尖塔形のものである。測定は図1のように、各試験体の正方形の面上で発信と受信の各センサーの先端を試験体表面に接触させて行った。

図2に受信波形の一例を示す。縦軸は最大値を基準とした百分率 (%) で示してある。超音波パルス発信から振幅の大きさが1%超となるまでの時間を伝播時間とし、発信と受信の各センサーの先端の間隔（センサー間距離）を伝播時間で除して伝播速度を算出した。

2.2.1 センサー間距離の検討

各試験体の正方形の面の中心線上で、45～80mm

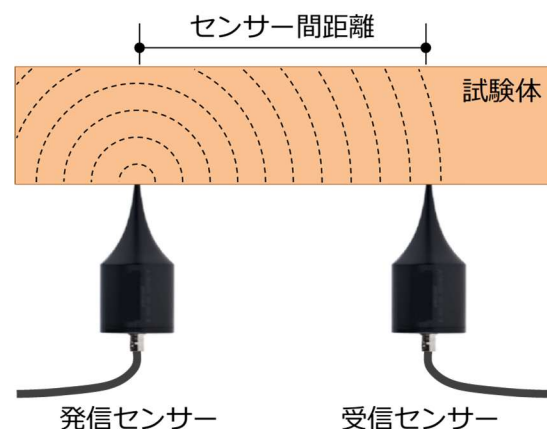


図1 超音波試験の方法（表面法）

* 試験研究部

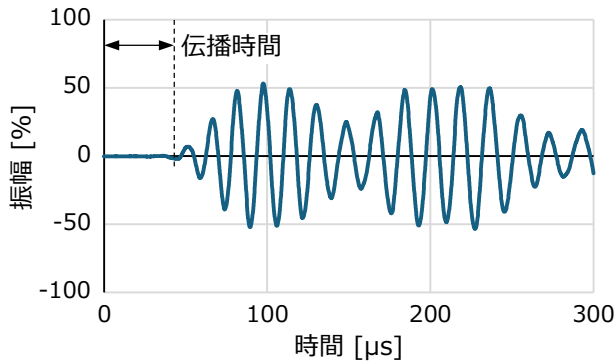


図2 受信波形の一例

のセンサー間距離で伝播時間を測定して伝播速度を算出した。また、それぞれのセンサー間距離で試験体なしでの伝播速度も併せて求めた。

2.2.2 伝播速度の分布

図3のように、各試験体の正方形の面の中央60×60mmの範囲を10mm間隔でメッシュ分割し、センサー間距離60mmで伝播速度を求めて、組織構造との関連を調べた。

3. 結果と考察

3.1 センサー間距離と伝播速度の関係

図4に、センサー間距離と伝播速度の関係を示す。45～80mmのいずれのセンサー間距離でも、超音波は試験体なしの場合で空气中を伝播した。試験体ありの場合の伝播速度は、センサー間距離が小さいと試験体なしの場合のそれと一致する事象が見られた。この事象は、L方向ではセンサー間距離55mm以上、R方向及びT方向ではセンサー間距離60mm以上では見られず、これらは図1のような超音波試験で試験体の伝播時間を測定する際に注意すべきと考えられる。なお、伝播速度の大小関係はT方向<R方向<L方向であった。

3.2 伝播速度と組織構造の関係

図5に、伝播速度の分布を示す。伝播方向が繊維に平行の場合では、中央で最大となる山形の分布となった。これらのうち、板目板の測定結果は年輪との関連、柾目板の結果は樹心からの距離との関連があることが推察される。今回の検討で用いた試験体はいずれも無節であるが、節の存在により

		試験体	
		板目板	柾目板
伝播方向	繊維に平行		
	繊維に直交		

単位：mm

図3 伝播時間測定の方角と位置

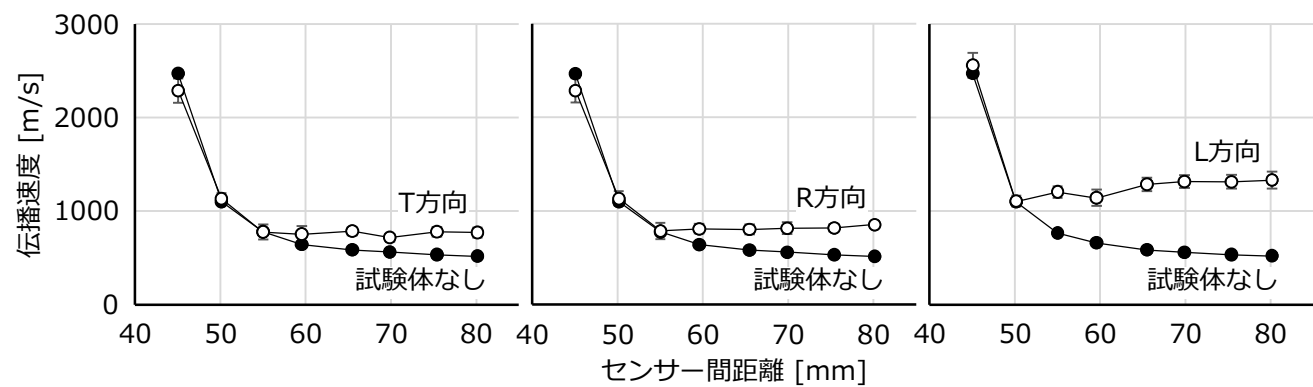


図 4 センサー間距離と伝播速度の関係

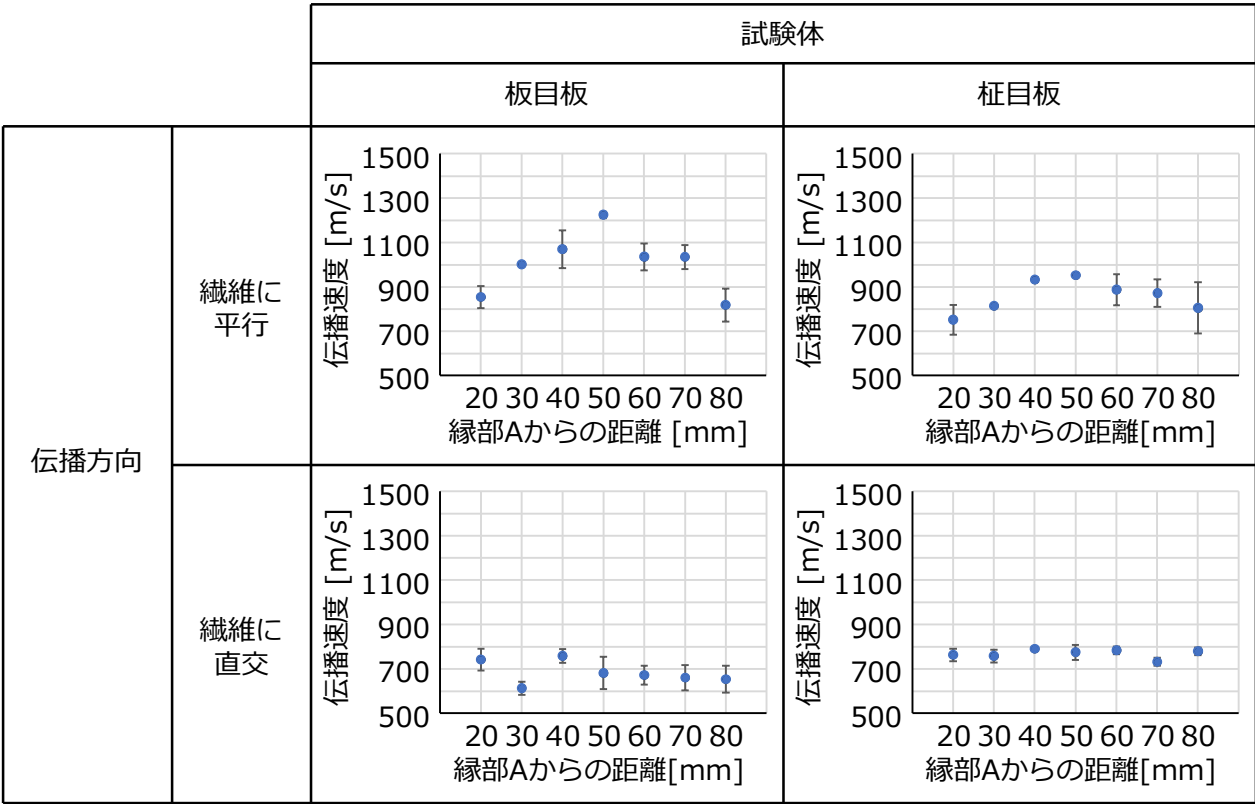


図 5 伝播速度の分布

測定結果が影響を受けることが報告されており⁷⁾、組織構造との関連をより詳細に検討することにより、内部の節を検出する技術開発の可能性が期待できる。繊維に直交方向の場合では、板目板と柾目板のいずれも分布は概ね平坦で、T 方向の伝播速度である板目板の結果のばらつきの方が大きい結果となった。伝播方向による伝播速度の違いについては、板目板では繊維方向は繊維直交方向の 1.2～1.7 倍、柾目板では 1.0～1.2 倍であった。

4. まとめ

本報では、超音波を用いた木材の材料特性の推定を目標として、従来の円柱形ではなく、測定対象物への接触面積の小さい尖塔形の超音波センサーを用いて、木材の超音波伝播速度に及ぼす要因を検討した。計測は木材の同一面に発信・受信センサーを設置する表面法により行った。板目板及び柾目板の試験体を作製し、様々なセンサー間距離で伝播速度を求めた。また、表面中央付近を10mm間隔にメッシュ分割して伝播速度の分布を計測した。

得られた結果を以下に示す。

- ・表面法での測定では60mm以上のセンサー間距離が必要であった。
- ・伝播方向が繊維に平行の場合、伝播速度は年輪や樹心からの距離との関連があることが推察された。
- ・伝播方向が繊維に直交の場合、測定位置の伝播速度への影響は比較的小さいことが分かった。

参考文献

- 1) 例えば、浪江和隆他：応力波伝播法に基づく木材の完全非破壊型ヤング係数推定法の提案、日本建築学会構造系論文集、第78巻、第686号、pp. 833-838、2013.
- 2) 三城昭義：木材中の超音波伝播速度と水分（第1報）木材中の超音波伝播速度に及ぼす水分傾斜の影響、木材学会誌、第41巻、第12号、pp. 1086-1092、1995.
- 3) 三城昭義：木材中の超音波伝播速度に及ぼす木理角、年輪傾角の影響、木材学会誌、第42巻、第2号、pp. 211-215、1996.
- 4) 三城昭義：木材中の超音波伝播速度に及ぼす密度の影響、木材学会誌、第42巻、第9号、pp. 887-894、1996.
- 5) 鈴木弘志他：木材の超音波伝播速度におよぼす繊維傾斜角の影響、木材学会誌、第36巻、第2号、pp. 103-107、1990.
- 6) 後藤崇志他：腐朽処理した木材の超音波伝播速度及び部分圧縮強度の変化 超音波伝播速度の低下と残存強度との関係、木材学会誌、第57巻、第6号、pp. 359-369、2011.
- 7) 速水紀文他：超音波を用いて得られる木材の伝播速度、日本建築学会技術報告集、第23巻第54号、pp. 469-474、2017.

飛騨地域家具製造業向けの木材データベースの構築（第2報）

足立隆浩*, 沼澤洋子*

Construction of wood database for the furniture industry in Hida (II)

ADACHI Takahiro*, NUMAZAWA Yoko*

家具等の原材料となる広葉樹材については、近年海外産から国内産への転換が進みつつあり、興味関心が高まっている。しかし、中径丸太を対象とした国内産広葉樹材についてはこれまで調査研究等があまりなされていなかったことから、その特性データについて不足しているのが現状である。そこで本研究では、飛騨地域産広葉樹について、曲げ強度、圧縮強度、せん断強度の物性調査を行った。本年度はまず8樹種の広葉樹について、それぞれ一個の個体より試料の採取を行い、これらについて物性の測定を行った。今後はさらに調査個体数を増やし、最終的に飛騨地域産広葉樹の物性データベースを作ること为目标とする。

1. 緒言

従来、国内の家具製造業においては、原材料として海外産の広葉樹材が広く用いられてきた。これは、国内において天然の広葉樹林は針葉樹林等と比べて管理が行き届いていないことが多く、間伐等が不十分であったことから、材として使用しにくいものが多かったことなどによるものと思われる。また、調達が比較的容易な国内産広葉樹は海外産のものと比べて径が小さいことが多い。その結果、国内産広葉樹は大半が燃料チップやパルプ原料等として用いられ、家具製造への利用は限定的であった。

ところが、2020年より発生した新型コロナウイルス感染症の世界的な流行、およびこれに端を発するウッドショック、さらに2022年からのウクライナ危機にも関連し、海外産広葉樹の調達が困難となる事例が発生した。一方、近年ではこれらの事態に先立ち、国産広葉樹材の活用への取り組みも活発になりつつある。例えば岐阜県飛騨市においては2014年より「広葉樹のまちづくり」が取り組まれており、森林から製材加工、木工製品の生産に至るまでの一貫した取り組みがなされている¹⁾。このような情勢の中で、家具製造業においても国産広葉樹を使用していこうという動きはますます活発になりつつある。

しかし、国内産広葉樹については調査・研究・技

術開発が針葉樹のそれと比べて進んでいるとはいえず、また利用の実績・ノウハウも少ないことから、市場の需要に合う木工製品を生産するためのデータ等が不足しているのが現状である。

そこで、本研究においては飛騨地域産広葉樹の家具製造業における活用を促進するため、各種物性データの調査を行った。本研究においては各樹種について異なる複数の原木の物性データを集めてゆき、長期的に飛騨地域産の広葉樹の各種物性データベースを作製すること为目标とする。

2. 実験方法

2.1 試験材

2023年度に伐採された飛騨市産の広葉樹のうち、コナラ、ミズナラ、クリ、ブナ、ウダイカンバ、ミズキ、トチノキ、ホオノキの8樹種について、約2m長の二番玉の丸太材を調達した。これを、飛騨市内の製材企業において、まず丸太の芯にて半割とし、これを樹皮側に向かって30mm厚ずつ切断して板材とした(図1)。この板材を当所において37日間人工乾燥し、含水率が8%程度となるよう調整した。乾燥条件は、温度が45℃から55℃、相対湿度が100%から32%であり、プログラム運転により適宜条件を調整しながら行った。

2.2 試験片の作製

2.1節で乾燥した板材のうち、最も材芯に近い一枚から、曲げ試験片、縦圧縮試験片、せん断試験片

* 試験研究部



図1 調達した板材群の例

を作製した。

試験片の取り方は、図2のように板材を500mmずつ三か所取り、これらについて図3のように材芯より樹皮側に向け20.5mm幅ずつ、可能な限り追い杭とならないように切断する形とした。これらの部材より、図4のように曲げ、縦圧縮、せん断試験片をそれぞれ作製した。なお、割れがある地点にあたるなどの明確な不良部位は除外したが、それ以外の部位に関しては木目によらず全て測定対象とした。

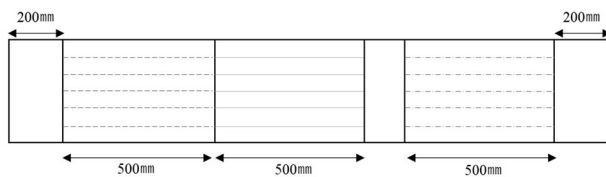


図2 試験片採取位置（板材の全体図）

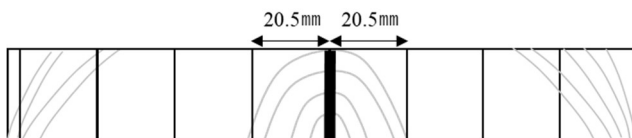
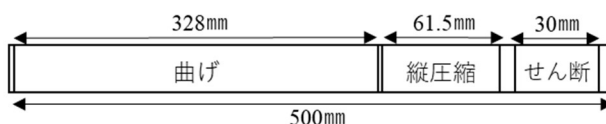
図3 試験片採取方法（材を木口側より見たもの）
太線部が材芯

図4 試験片作製図

表1に各物性試験にて測定した試験体の数を示す。なお、ミズキは曲げ試験片21個、圧縮試験片20個、せん断試験片19個を測定した。

表1 試験体数

樹種	試験体数
コナラ	21
ミズナラ	21
クリ	23
ブナ	26
ウダイカンバ	20
ミズキ	19～21
トチノキ	20
ホオノキ	19

2.3 物性測定

2.2節で作製した各種試験片について、物性測定を行った。試験はいずれも、株式会社島津製作所製万能試験機UH-100KNC形を使用して行った。また、試験の前に各試験片の寸法を測定し、さらに試験前後の重量も測定した。

2.3.1 曲げ試験

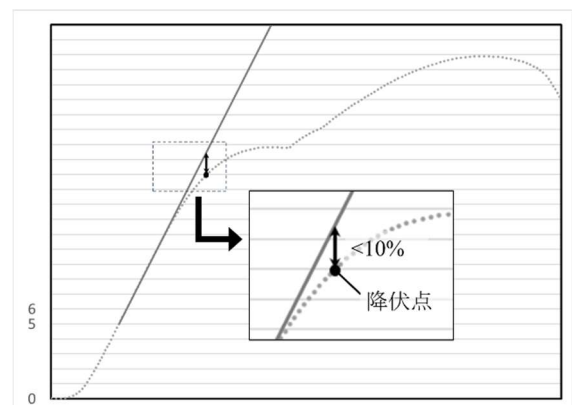
曲げ試験片は、長手方向328mm、断面の一边が20.5mm角の直方体とした。また試験においては支点間距離を287mmとし、試験速度を5mm/minとした。

試験後に各試験片について測定結果を分析し、3%以上荷重の減少があった点を破断点とした。この破断点と最大荷重を記録した点とを比較し、早く事象が発生した点における荷重を用い、曲げ強度を算出した。

2.3.2 圧縮試験（縦圧縮試験）

縦圧縮試験片は、繊維方向長さ61.5mm、断面の一边が20.5mm角の直方体とした。試験においては圧縮速度を5mm/minとした。

試験後に各試験片について、図5のように測定結

図5 圧縮荷重の算出（一例）
破線：応力-ひずみ曲線 縦軸：荷重（kN）

果を分析した。まず、各試験片における応力－ひずみ曲線上において、荷重5kNと6kNを示した二点の間で直線を引き、その直線の式を算出した。次に、算出した式を全ての測定範囲へ延長拡大し、実際に得られた応力－ひずみ曲線と比較した。そして、これらの荷重差が10%以上となる点を求めた。この点における応力－ひずみ曲線上の荷重を、圧縮試験における降伏点として扱い、この点の荷重を用いて圧縮強度を算出した。

2.3.3 セン断試験

せん断試験片は、繊維方向長さ30mm、断面の一边が20mm角の直方体をさらに加工し、せん断面厚さおよびせん断面長さが20mm角となるようにした。試験においてはせん断圧縮速度を2mm/minとした。

試験後に各試験片について、図6、図7のように測定結果を分析した。まず各試験片における応力－ひずみ曲線上において、荷重2kNと2.5kNを示した二点の間で直線を引き、その直線の式を算出した。次に、算出した式を全ての測定範囲へ延長拡大し、

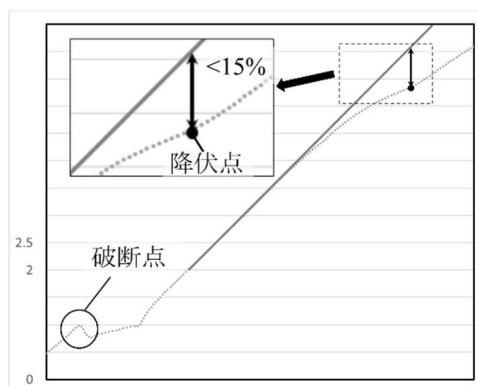


図6 セン断荷重の算出
(最大荷重までに破断点が存在する場合)
破線：応力－ひずみ曲線 縦軸：荷重 (kN)

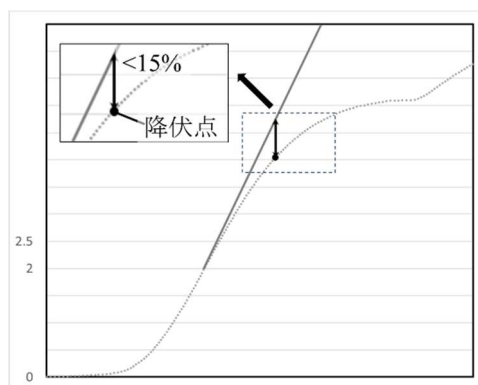


図7 セン断荷重の算出
(最大荷重までに破断点が存在しない場合)
破線：応力－ひずみ曲線 縦軸：荷重 (kN)

実際に得られた応力－ひずみ曲線と比較した。そして、これらの荷重差が15%以上となる点を求めた。この点における応力－ひずみ曲線上の荷重を、圧縮試験における降伏点の荷重として扱うこととした。そして、この降伏荷重、および曲げ試験と同様の手法で求めた3%荷重減少荷重（破断荷重）、そして試験全体における最大荷重を比較し、これらのうち最も早く事象が発生した点における荷重を用い、その試験体のせん断強度を求めた。例えば、図6のような場合は試験中に破断点と降伏点がともに存在し、降伏よりも破断が先に生じたため、破断点の荷重によりせん断強度を求めた。一方図7のような破断点が存在せず、一方応力－ひずみ曲線の傾きの変化は確認したような場合は、降伏点の荷重によりせん断荷重を求めた。

3. 結果

以下、箱ひげ図を用いて各測定結果を示す。これらの図では、線の上端が外れ値を除く最大値、線の下端が同様の最小値、箱内部の横線が全体の中央値、×印が平均値、丸点が外れ値を示す。

3.1 曲げ強度

図8に曲げ強度値を示す。

今回調達した広葉樹材では、コナラ、ブナ、トチノキが比較的単一板材の中での曲げ強度のばらつきが小さい結果となった。また、ミズキについては芯に一番近い試験片が最も強度が小さく、樹皮に近づくにつれ強度が大きくなる傾向がみられた。しかし、他の樹種にはそのような傾向が明確には見られなかった。また、クリは単一板材内での強度値のばらつきが大きくなった。これについては芯より片側面より取った試験片の曲げ強度値が最小

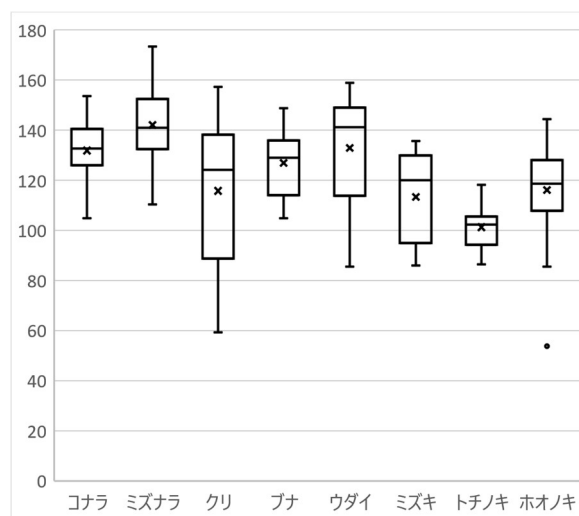


図8 曲げ強度 (単位：MPa)

で113MPaだったのに対し、もう片側面からのものの最大値が110MPaとなるなど明確に位置による強度の偏りがあった。これが今回調達した材に特有のものであるのか、クリという樹種全体の傾向であるかを確認するためには、さらに多くの個体について調査を行う必要がある。

3.2 縦圧縮強度

図9に縦圧縮変形強度値を示す。

今回調達した広葉樹材では、単一板材内の圧縮強度のばらつきについてはクリとホオノキがやや大きくミズナラとミズキがやや小さいものの、全体としてそれほど大きな差は見られなかった。また、クリに関しては曲げ強度の場合と同様に、芯より片側面から取った試験片の強度値がもう片側面からのものより強い傾向があり、曲げ強度が強い側が圧縮強度も強く算出された。一方でミズキは曲げ強度の場合と比較して、芯に近いほうが圧縮強度が弱いというような傾向は明確には見られなかった。

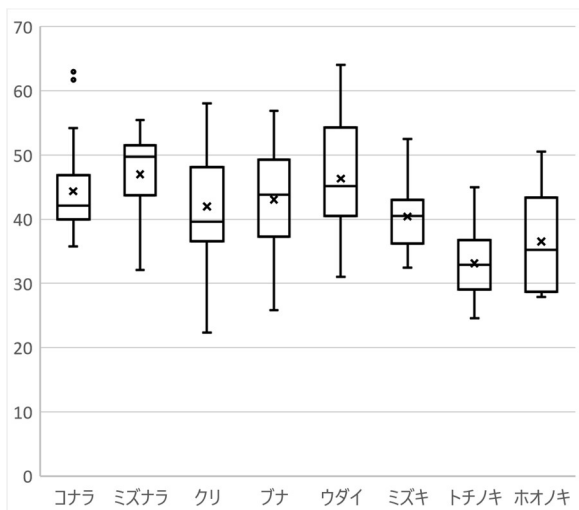


図9 縦圧縮強度（単位：MPa）

3.3 せん断強度

図10にせん断変形強度値を示す。

今回調達した広葉樹材では、単一板材内の中央値、平均値が共にナラなどの環孔材のほうがブナなどの散孔材に比べせん断強度が強い結果となった。また、板材内のばらつきはホオノキが非常に大きくなった。これについてはほかの樹種と比べホ

オノキは特に試験初期で破断点が見られる試験片が多かったことによる。またトチノキについては外れ値を除けばばらつきは小さいものの、ホオノキと同様に試験初期で破断点が見られる試験片が他樹種と比べて多く、単一板材全体としてはせん断強度のばらつきが大きい結果となった。また、ブナ、ミズキについてはいずれの試験片にも明確な破断点が試験を通じて一切見られなかった。一方で変形についてはいずれの部位の樹種においてもいずれかの試験片において確認された。また、クリやミズキの板材内での強度分布の傾向については圧縮試験の場合と同様であった。

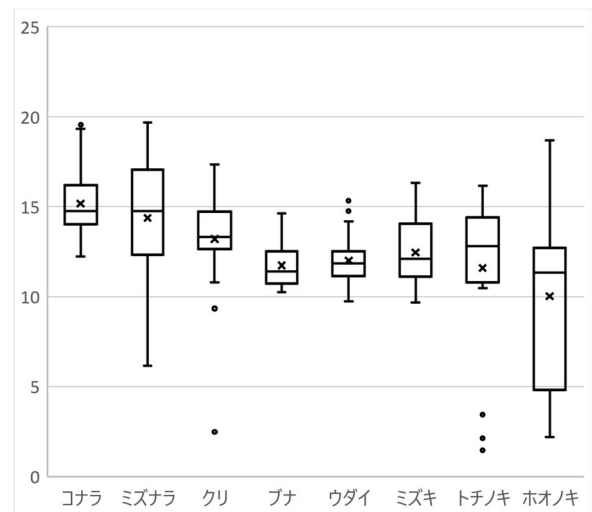


図10 せん断強度（単位：MPa）

4. まとめ

飛騨地域産広葉樹の各種物性を調査した。まず今年度は広葉樹8樹種について、各一本ずつの丸太材を調達して板材とし、乾燥のうえで曲げ、縦圧縮、せん断強度について測定を行った。本事業については飛騨地域産広葉樹の特性を把握することを目的とする。最終的には樹種ごとの傾向等についてデータベースとしてまとめ、web媒体等での公表を行えるように今後さらに複数の広葉樹個体について物性調査を行う予定である。

参考文献

- 1) <https://hidatsumu.com/>
飛騨市 広葉樹のまちづくり