

臀部形状シートを用いた体圧分散クッションの開発

宮川成門^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 山口穂高^{*1}, 稲垣能嗣^{*2}

Development of Body Pressure Dispersion Cushion Using Buttock Shape Seat

Naruto MIYAGAWA^{*1}, Goroh FUJIMAKI^{*1}, Hodaka YAMAGUCHI^{*1}, Yoshitsugu INAGAKI^{*2}

先行研究による臀部形状シートを用いた椅子の派生品として、ウレタンフォームによる椅子用および車いす用の体圧分散クッションを製品化した。椅子用クッションは、座面高上昇による大腿部の圧迫がないように、当初のシートを前傾させることで座面前縁高を下げ良好な着座感が得られるようにした。また、スツール等背もたれの支持が無い状態での使用を考慮し、仙骨部の支持を取り入れた。車いす用クッションについては、車いすのフットレスト高さが調整可能なため、前傾させずアンカーサポートを効かせた。また、後端部をカットすることで背もたれと坐骨距離を適正にして骨盤支持を可能とした。開発した車いす用クッションの体圧ピーク値は、市販のエアクッションやゲルクッションに近い値を示した。

1. 緒言

当所では先行研究において人の臀部形状測定に基づくシートを用いた椅子を、企業と共同で製品化した^{1)~3)}。これを福祉機器展示会等で発表する中で、来場者から椅子用クッション、車いす用クッションへの展開要望があった。市場には椅子用クッションは健康用品として、車いす用クッションは福祉用具として販売されており、形状や素材は様々であるが、主な目的は体圧分散と姿勢保持である。開発済みの臀部形状シートは体圧分散が良好なものであり、かつ人体計測に基づく形状設計はコンセプトの点でも他製品との差別化が期待できた。そこで今回、臀部形状シートを利用した派生品として椅子用クッション、車いす用クッションを製品化（図 1, 2）したので報告する。



図 1 椅子用クッション

2. 椅子用クッションの開発

2.1 課題設定

開発済みの臀部形状シートは、37 名の成人男女の臀部測定を利用しており、密着性の高い形状による体圧分散性能が利点である。よって椅子用クッションの主要な目的は、日常使う椅子の座面が平板で硬いと感じる使用者の快適性向上とした。またスツール等、背もたれによる骨盤支持ができない状況で使用した際を考慮し、仙骨支持部を作ることによって骨盤後傾を抑えることも目的として検討することとした。



図 2 車いす用クッション

^{*1} 試験研究部

^{*2} 丸菱工業株式会社 企画部

2.2 デザイン・設計

先行研究により製品化した椅子を図3に示す。この椅子は臀部形状シートが前後スライドすることにより作業～休息姿勢の支持を目的としたものである。座面傾斜は休息時のアンカーサポートを考慮した 5° 程度のやや大きな後傾としてあり、シート部の底面から大腿部は70mmの高さがある。このシートを一般的な椅子（座面高400mm、座面傾斜 2° 程度）の上に置くと、大腿部圧迫と過度の後傾により快適性が損なわれるため、底面形状の微調整より(a)～(d)案を試作した。これを金属パイプ椅子の上に置き、展示会において最も良い試作を選んでもらった。（中日健康フェア来場者154名：女性113名、男性30名、未記入11名）

試作の概要と選択結果を図4に示す。試作(a)は製品の第一候補としていた案である。後端から 5° 前傾させてカットすることで当初のシートの傾斜を無くし、座面前縁高さを30mm程度とした。(b)は底面から20mmを水平にカットし、座面前縁高さを50mm程度とした。(c)は坐骨付近から前縁を斜めにカットしてあり、カットした部分が大腿部の重みでたわむことで座面前縁の高さを30mm程度となるようにした。(d)は椅子で使用した形状と同じものとした。なお、試作の素材は全てチップウレタンの表層に20mmの軟質ウレタンフォームを用いた。体圧分布（装置：Xsensor, Xsensor社／体重60kg男性1名）による大腿部の接触領域の広さは(d)>(b)>(a)>(c)の順であり、来場者は第一候補の(a)を選んだ方が一番多かったことから、(d)(b)は大腿部の支持がやや強く、(c)は支持がやや不足する可能性が推察された。

次に(a)案を用いた仙骨傾斜角および腰椎の弯曲状態の測定結果を図5に示す。水平座面のスツールを用い腰椎を十分に脱力した座位を取り、クッションの有無による効果を比較した。クッションの仙骨支持部の立ち上がり形状により、骨盤後傾、腰椎間角度の計とも 5° 程度の改善が期待できた。（装置：Spinal Mouse, Idig社／男性3名）

2.3 製品化

以上を経て(a)案を基に製品化したものが図1である。最終調整では展示会でのニーズを取り入れ、表層にメッシュシートを貼り通気性に配慮した。なおメッシュシートの厚み分表層のウレタンフォームをカットすることで、表面形状が変わらないよう注意した。また、クッションカバーについては取り外し洗うことができるもの、カバー底面には滑り止めの素材を取り付けた。注意点としては、クッションの後端部に仙骨支持部の立ち上がりがある分座面後方の奥行きを要するため、使

用環境としては背もたれ下部に空間がある椅子やスツールでの使用に適している。背もたれが面状に骨盤部まである椅子の場合は、クッション後端部をカットし、坐骨位置と背もたれまでの距離を調整することが効果的である。また正面から見て座面がカーブした椅子の場合は、クッションの変形防止に底面に板を入れる等の工夫をすると効果的である。



図3 臀部形状シートを用いた椅子

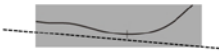
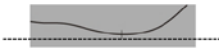
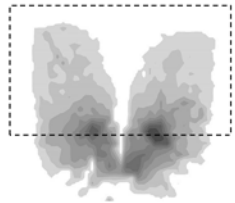
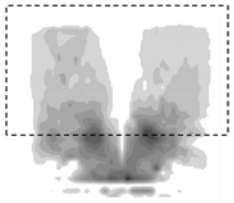
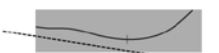
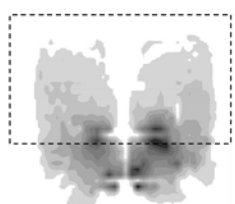
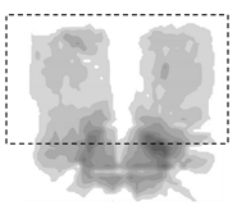
試作(a)	試作(b)
側面図： 5° 前傾にカット 	水平にカット 
坐骨前方領域：762.9cm ² 	798.4cm ² 
選択者数：58名(37.7%)	42名(27.3%)
試作(c)	試作(d)
坐骨部前を前傾にカット 	変更なし 
698.4cm ² 	851.6cm ² 
34名(22.1%)	20名(13.0%)

図4 椅子用クッション試作概要と選択結果



図5 仙骨傾斜角と腰椎間角度の計

3. 車いす用クッションの開発

3.1 課題設定

車いすの背もたれは面状に座面までつながっているもので統一されるため、背もたれとシートの坐骨位置の距離を適切に定めることにより、背座による骨盤支持が可能である。また、リクライニング時の座り心地、スリングシートによるたわみ防止にも配慮が必要であり、これらに対応するようデザイン検討を行った。

3.2 デザイン・設計

骨盤後傾を防ぐため、背もたれと坐骨位置の調整を行った。車いすの座面高についてはフットレストが下腿長に合わせて調整できるため、シート of 座面前傾はせず当初の 5° 程度の後傾を変えずアンカーサポートを効かせた。シートの後端部は仙骨支持部の立ち上がりがあるため、車いすに配置すると背もたれから坐骨の位置が遠くなる。よって当所設計値を参考⁴⁾に背もたれ接点から130mm 付近が坐骨位置となるようシートの後端部をカットし、背もたれが骨盤を支持できるようにした。また仙骨部の立ち上りをカットしたことで、リクライニング車いす使用の際は骨盤を寝かすことが可能である。

3.3 製品化

以上の結果製品化したものが図2である。ベースのチップウレタンの表層は 20mm の高密度のウレタンフォームとし、底付き感や体型差の緩和に配慮した。クッションカバーの素材については椅子用と同様とし、スリングシートによるクッションのたわみ防止用の樹脂製ボードを底面に取り付けた。これについては取り外しも可能である。

製品化した車いす用クッションと市販の車いすクッションによるピーク圧の比較を図6に示す。背もたれ支持が無い水平座面スツールを用いた直立姿勢での比較において、開発品は、エア、ゲルクッションに近いレベルの値を示した。また、標

準型車いすのスリングシートに合板を敷きクッション設置した場合は、背もたれ支持がある影響か、開発品、エア、ゲルクッションの差がほぼ同等の値を示した。(装置：Xsensor, Xsensor 社/体重 60kg 男性2名)

開発品はウレタンフォームを素材としており経年劣化の考慮が必要だが、機能性クッションとしては比較的安価になっているため、クッション導入時の選択候補となれば幸いである。(TAIS コード取得済, 丸菱工業株式会社)

■背もたれ無し水平スツール上にクッション設置

開発品	市販品 エア調整式
男性1ピーク圧 : 139.8mmHg	97.4mmHg
男性2 " : 114.3mmHg	93.6mmHg
例: 男性2	
市販品 ゲル+ウレタン	市販品 ウレタン (2層60mm厚)
114.5mmHg	198.5mmHg
106.1mmHg	138.1mmHg

■標準型車いす上にクッション設置

開発品	市販品 エア調整式
男性1ピーク圧 : 87.7mmHg	83.0mmHg
男性2 " : 74.9mmHg	78.6mmHg
例: 男性2	
市販品 ゲル+ウレタン	市販品 ウレタン (2層60mm厚)
75.1mmHg	119.0mmHg
79.2mmHg	143.6mmHg



図6 車いす用クッションと市販品の比較

4. 試用事例

連携機関の特別養護老人ホームから、リクライニング車いす使用中の前すべり姿勢について相談があった。そこで開発した車いす用クッションの試用検討を兼ね、機能改善チームの職員と連携により改善検討を行った。以下に前ずれの原因として考えられた点および対策と対策後の状況を、また図7,8にその時の姿勢の状況を示す。

〔原因と考えられたこと〕

- ・膝関節が拘縮ぎみの状態で、下腿を前方に出しているため身体全体が前に引っ張られる。
- ・股関節も拘縮ぎみだが、誤嚥防止のため背もたれを起こすので、身体が前に押し出される。
- ・クッションはエアのものを使用しているが、軟質のクッションのため坐骨が支えられず前方にたわむ。

〔対策と対策後の状況〕

- ・拘縮した下腿は前に出さず、座面下に入るようにした上で足浮きをなくす。
- ・車いすの背座角が拘縮した股関節の開きに合うよう充分に開き奥まで臀部を入れる。誤嚥対策としては枕やタオル等を用いて胸部より頭を起こす。
- ・クッションはアンカーサポートが有効と考えられる開発クッションを用い、坐骨が支えられるようにする。
- ・これにより、座位直後から前すべりを起こす状態から、着座後の姿勢安定が確認できた。今後も試用調査を重ねたい。

5. まとめ

先行研究で開発した椅子の臀部形状シートを用いて、椅子用、車いす用の体圧分散クッションを製品化した。椅子用クッションは、椅子の上に置いても大腿部の圧迫がなく、スツール等の骨盤支持部が無い椅子でも仙骨支持による骨盤後傾の抑制を考慮した。車いす用クッションは、アンカーサポートを効かせ、背もたれと併用して適切な骨盤支持が可能となるよう考慮した。

現在両製品とも商品化され、多数の販売実績が出ている。今後の課題としては、使用する椅子や車いすの形状、使用者の状況は様々であるため、数パターンの形状調整を加えた製品が展開できれば理想的である。

なお本開発は丸菱工業株式会社と県内ウレタンフォーム加工業者と実施した。また試用検討については岐阜県立飛騨寿楽苑と連携して実施した。



図7 改善の相談があった前すべり姿勢



図8 車いすクッションの使用と姿勢調整後

参考文献

- 1) 宮川成門他：座位姿勢を支えるダイニングチェアのデザイン(第2報)臀部形状シートの利用, 平成26年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 17, pp. 10-14, 2015
- 2) 藤巻吾朗他：自動車シートの座面形状の提案, 平成25年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 16, pp. 13-16, 2014
- 3) 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, 平成24年度岐阜県生活技術研究所研究報告, No. 15, pp. 19-23, 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5報)木製椅子の座面の「抜き」の位置と大きさの検討, 平成16年度岐阜県生活技術研究所報告, No. 7, pp. 21-27, 2005

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

伊藤国億^{*1}，土肥基生^{*2}，三井勝也^{*1}，石原智佳^{*1}

Development of wood products comforting aroma (3)
Essential oil recovery in the exhaust steam during wood drying

Kuniyasu ITO^{*1}, Motoo DOHI^{*2}, Katsuya MITSUI^{*1}, Chika ISHIHARA^{*1}

木材乾燥過程で排出される蒸気中の精油を水冷式にて回収した。ラボスケールにおける回収可能な精油量は材積1m³当たり3.1-5.3Lであったが、冷却温度や回収装置の機構によってはその収率が19-31%(0.92-1.02L/m³)まで低下した。実大試験における精油回収量は材積1m³当たり0.88-1.45Lとラボスケールと同等であったが、収量には排出蒸気量が影響し、回収装置の冷却効果には気温も影響した。回収率が低下した精油組成は α -ピネンが減り、 δ -カジネンなどのセスキテルペンが増加した。

1. 緒言

国内針葉樹林が成熟期を迎え、国家施策によってスギ、ヒノキなど木材は住宅用材として消費拡大が促進されている。住宅用材は材内の含水量を減らすため乾燥処理されて市場に供給されているが、その乾燥過程で材内の水分が排出蒸気となって多量に生じている。この排出蒸気には木材由来の精油等が含まれているが、排出蒸気を回収して精油を利用することはほとんどない。我々は未利用資源かつ副生産物である排出蒸気中の精油を回収し、その組成や収量を検証するため、ラボスケールで木材乾燥実験を行い、乾燥条件(温度、時間)に伴う精油組成を明らかにした¹⁾。

これまでにジムロート管を用いた冷却回収を行ったが、実大レベルの設備や回収時のコストなど実用性を勘案して水冷タンクによる回収効果を検証することとした。また、その結果を踏まえて実大乾燥機においても精油回収試験を実施したので、その結果を報告する。

2. 実験方法

2.1 ラボスケールにおける精油回収方法

木材乾燥装置から排出される蒸気を回収する精油回収装置は、冷却コイル（ステンレスパイプΦ0.6mm×1.82M）を設置した10Lステンレスタンクの冷却槽を用いた(写真1)。装置側面のケーブル孔から排出した蒸気はシリコンホースで連結した冷却槽上部の給気孔から流入され、20℃にチラー制御



写真1 冷却槽(左)と冷却コイル(右)



表1 ヒノキ板材の乾燥スケジュール

乾燥期間	(蒸煮)		初期		中期	後期
時間	1	5	6	6	12	12
温度(℃)	85↑	85	85	86	87	88
湿度(%)	100↑	100	81	78	75	72

した冷却器により凝縮して冷却槽に貯留する。流入した気体は冷却槽上部の排気孔から排出される。なお、乾燥条件は先の報告¹⁾と同じ90℃乾燥スケジュール(表1)とし、回収率の高い初期(20時間)を試験した。

2.2 実大試験における精油回収方法

実大乾燥機の容積は木材乾燥装置の約100倍であったことから、実機の精油回収装置もラボスケールの100倍で製作した(表2及び写真2)。乾燥機の自然開放式の給排気口は4箇所あり、2箇所を給気口、残り2箇所を排気口として内部の風向きを一方

^{*1} 試験研究部

^{*2} 岐阜県森林研究所

表2 ラボ機及び実機の装置仕様

装置仕様	木材乾燥機(装置)				精油回収装置			
	給排気口 (m ² /箇所)	排気口 風速 (m/s)	換気能 (m ³ /h)	内寸 (m ³)	容積 (m ³)	冷却器 φ×L (cm, m)	冷却器 表面積 (m ²)	比表面積 (m ² /m ³)
ラボ機	0.00025	6.2	5.6	0.12	0.01	0.6, 1.82	0.032	3.2
実大機	0.0144	5.4	560	10.8	0.96	1.9, 50.0	3.0	3.1



写真2 木材乾燥機(奥側)と精油回収装置(手前)

表3 各回収条件における精油回収量

ヒノキ材 No.	乾燥前 MC(%)	回収時の設定条件			精油回収量		芳香蒸留水 (ml)
		冷却部	冷却水 温度(℃)	室温(℃)	%/全乾重量	L/材積(m ³)	
A	33.4	冷却管	5	12-15	1.03	5.30	1,128
B	32.6			12-15	0.79	3.67	846
C	39.9			14-17	0.65	3.05	1,268
A	33.6	冷却槽	20	13-18	0.20	1.02	1,621
B	31.9			12-15	0.22	1.00	1,238
C	39.4			14-20	0.20	0.92	1,411

向とした。また、給排気口のダンパー開度を一定にして、乾燥機と回収装置の接続にアルミフレキダクトを用いた。屋外で行う実大試験では気温が冷却性能に影響を及ぼすため、温度センサを乾燥機の給排気口および回収装置の給排気口、装置下部にそれぞれ設置して、温度影響を検証した。

乾燥スケジュールは2.1と同じスケジュールで行い、回収装置の冷却には水道水を使用し、その温度も計測した。装置下部より回収した精油は無水硫酸ナトリウムで脱水濾過した。

2.3 供試材

ラボスケールにおいて木材乾燥に用いるヒノキ(*Chamaecyparis obtuse*; 含水率30~60%)は飛騨産心持ち材(140×140×4000mm, 3本)とし、板材(32×140×400mm, 120枚)を木取りし、これら板材は心材部が同程度含まれるように材毎に4組に分けた。うち2組は冷却槽又はジムロート冷却管を用いた試験にそれぞれ供した。

実大木材乾燥において使用するヒノキは県産の丸太(径級24cm, 4M)から長さ2000m, 幅100-170mm, 厚さ30mmの板材を必要量製材し、2017年6月および9月、2018年3月に試験に供した。

2.4 精油分析

先の報告¹⁾と同様にGCMS分析に供した。

3. 結果及び考察

3.1 ラボスケールにおける精油回収

各ヒノキ材から表3に示す回収条件(冷却器の仕様、冷却温度、室温)により精油を回収した。ヒノキ材の精油含有量は全乾重量あたり1-3%程度と

知られており、冷却管を用いた精油回収量のばらつきは個体差によるものと考えられる。一方、冷却槽を用いた精油回収量はばらつきが小さく、冷却管よりも19-31%の収率であった。C材はA, B材に比べて含水率が高かったが、これは辺材部の含水率が高く見かけ上その平均値が高まったためであり、精油回収部位となる心材部の含水率は33%程度と材間の差は殆どなかった。そして試験室の温度の差も±4℃程度と小さかった。熱線式風速計を用いて各冷却器の排気孔の流速を簡易的に計測(60秒平均)した結果、冷却管は2.7m/s、冷却槽は6.2m/sであった。また、乾燥開始時において冷却器排気孔の出口温度は冷却管で18-20℃、冷却槽で50-55℃と温度差が大きかった。これらのことから冷却器の機構及び冷却水温度により収量が異なつたと考えられ、冷却効果は冷却管よりも冷却槽の方が小さく、冷却槽での収率は大きく低下した。一方、芳香蒸留水は冷却管よりも冷却槽の方が僅かに多かったが、精油回収量との関連性は認められなかった。なお、乾燥20時間後のヒノキ板材の含水率は精油回収手法に拠らず17-18%であり、表1の乾燥スケジュールの仕上がり含水率は10%程度であった。

3.2 実大試験における精油回収

実大試験に供したヒノキ板材の材積とその精油回収量を表4に、試験時の気温を図1に示す。また、6月および3月に行った試験時の乾燥機排気口、給気口、回収装置給気口、冷却水出入口の各温度を図2に示す。

精油回収量はばらつき、最も多かった6月試験分

表4 ヒノキ使用量と精油回収量

試験月	材積(m ³)	材積率(%)	精油回収量(L/m ³)
H29年6月	1.34	25.8	1.45
H29年9月	1.50	28.8	0.97
H30年3月	0.74	14.2	0.88

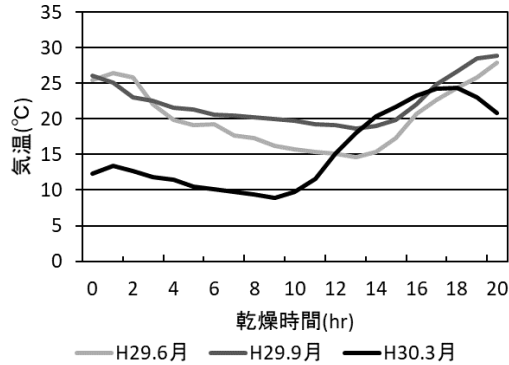


図1 実大試験時の気温

は最も少なかった3月試験分の1.65倍であった。精油回収量は試験体の個体差や冷却水温度、気温により変動すると想定される。実大試験では径級24cm, 4Mの丸太5-10本分を製材して1回の試験に供しており、回収量のばらつきがラボスケールと同様に試験体の個体差だけに起因するとは考えにくい。

乾燥機の排気口温度は蒸気が排出される際に上がるため、排気口の温度上昇の頻度は蒸気の排出回数と相関する。従って3月試験分よりも6月試験分の方が温度上昇の頻度が高く排出回数が多いことが推察され、流入した蒸気量が多かったと考えられる。材積は6月試験分が3月試験分の1.8倍と多かったことから材から出る水分量は多く、排出蒸気量に大きな差があったと推察される。なお、3月試験分と6月試験分の排出蒸気量の差は精油回収装置の給気口温度や冷却水出口の温度からも示唆された。また、乾燥機の給気口温度は乾燥開始の5時間以降は気温と同じ温度で経過したことから、5時間以降の排出蒸気はダクト及び精油回収装置内で凝縮したと考えられる。

冷却器による冷却効果を検証するため、冷却水の出入口温度から以下の式(1)より熱負荷量を算出した。

$$Q = \gamma_b \times L_b \times C_b \times (T_{out} - T_{in}) \times 0.07 \dots \text{式(1)}$$

Q : 負荷量[kW]

Lb : 循環水流量[l/min]

Cb : 循環水比熱[cal/g・°C]

Tout : 出口温度[°C]

γ_b : 循環水密度[g/cm³]

Tin : 入口温度[°C]

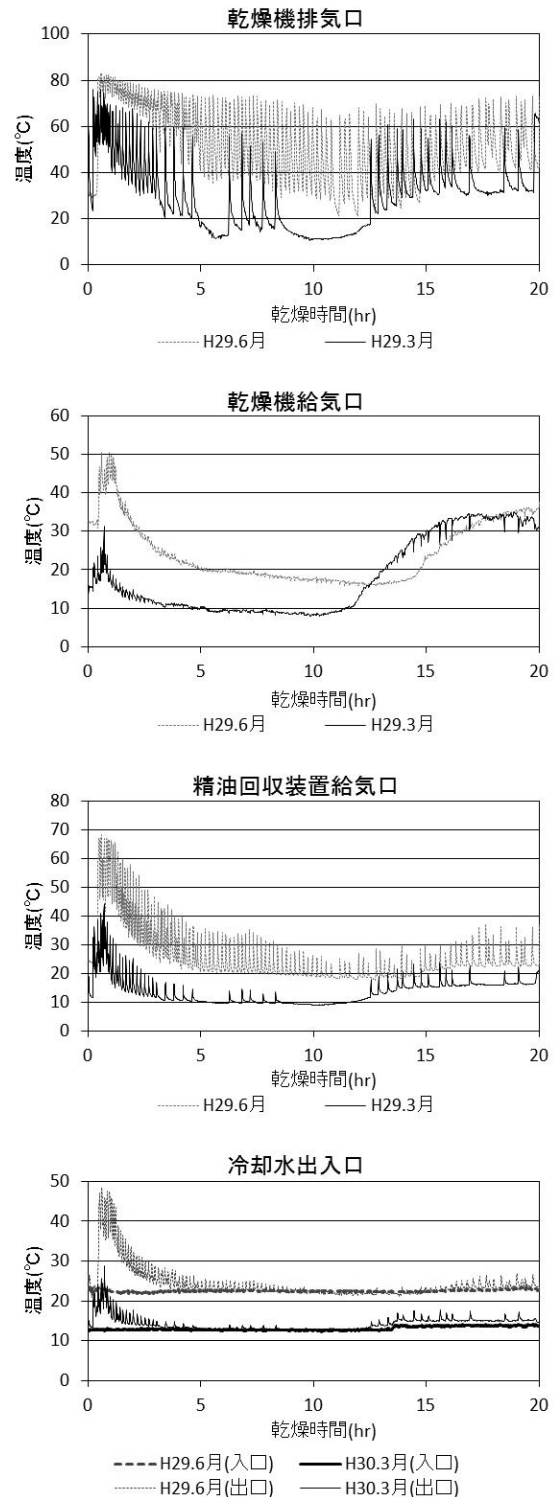


図2 試験時における各装置部位の温度変化

乾燥開始5時間までの熱量は6月試験分が1,187kw、3月試験分が431kwであり、6月試験分は3月試験分の2.8倍と材積比(1.8倍)よりも多かった。このことから、6月試験分は3月試験分よりも相対的に排出蒸気量が多かったと考えられる。

また、5時間以降の熱量は6月試験分が198kw、3月試験分が493kwであった。6月試験分は3月試験分よりも5-17hr間の気温が冷却水温度より低い時間帯が多かったことから、ダクトや精油回収装置外層の冷却効果が高く、冷却器で吸収される熱量が小さかったと考えられる。

一方、9月の精油回収量は6月の精油回収量の67%であった。収量に影響を及ぼす要因の材積や気温、装置の各温度(無掲載)は両者に殆ど差がなかった。6月試験分は製材当日に試験に供したが、9月試験分は栈積みし、水をかけてシートで2.5日間梱包養生した後、試験に供した。ラボスケールにおいて含水率20%程度のヒノキ材を乾燥した場合、排出蒸気からの精油回収は僅かであったことから、試験前の養生期間中に精油が揮発し、回収量に影響した可能性は否定できない。

実大試験の精油回収では精油回収装置の排出口と乾燥機の給気口がダクト接続されているため、回収装置で冷却できなかった蒸気はダクト内で冷却されるか、乾燥機内に戻るため、ラボスケールのような排出口出口での損失は少ないと推察されたが、回収率は同等であった。今回の試験においてダクト接続部の密閉が十分でなく、ダクト内で凝縮した精油や芳香蒸留水の一部が漏れたため、回収率が低下したと考えられる。

なお、実大試験における仕上がり含水率は10%程度であり、ラボスケールと同等であった。

3.3 各スケールにおける精油組成

ラボスケール及び実大試験により回収した精油の主な組成比を図3に示す。ラボスケールの冷却管使用時は精油組成の約80%が α -ピネンであったが、回収率の低い冷却槽使用時、又は実大試験時は α -ピネン割合は下がり、 δ -カジネンなどのセスキテルペン類、セスキテルペンアルコール類が増加した。また、写真3に示すように精油の色合いはラボスケールの冷却管使用時は無色あるいは僅かに黄色であったが、冷却槽や実大試験の精油は飴色または赤褐色であった。GCMS分析ではライナーのガラスウールに着色残留物が認められたことから、難揮発性成分の可能性が示唆された。なお、精油を減圧下で揮発させた残留物はGCMS分析に供した結果、セスキテルペンアルコール類が主要成分であった。今後、カラムクロマトグラフィーによる分離精製など色原因を究明していく。

4. まとめ

木材乾燥から排出される蒸気中の精油を水冷方式にてラボスケール及び実大スケールで回収試験

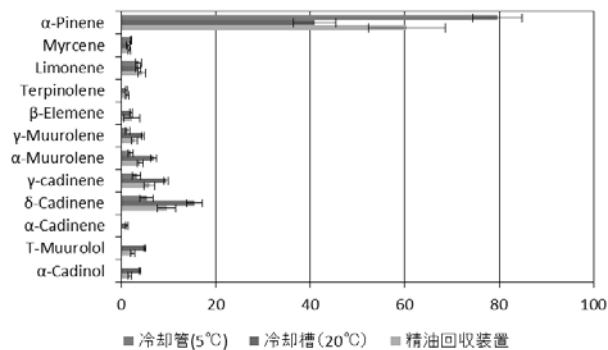


図3 精油回収装置に伴う精油の主な組成比

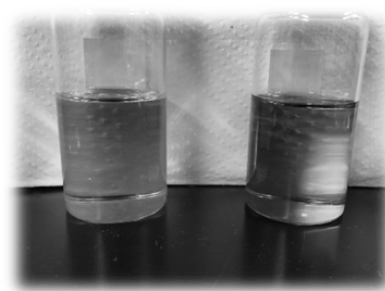


写真3 精油(左;冷却管使用時、右;冷却槽使用時)

を行った。排出蒸気から回収可能な精油量は全乾燥重量当たり0.7-1.0%、材積1m³当たり3.1-5.3Lであったが、回収装置の冷却機構や冷却温度によってはその収率が19-31%(0.92-1.02L/m³)まで低下した。実大試験では材積1m³当たり0.88-1.45L回収でき、ラボスケールと同程度の回収率を維持した。今回の乾燥条件では、材積と排出蒸気量は相対的に一致せず、0-5時間程度の排出蒸気量は多く、排出蒸気量が収量に影響したこと、気温は冷却効果に影響を及ぼすことが示唆された。また、回収率の低い冷却槽や実大サイズの精油回収装置における精油組成は α -ピネンが減少し、 δ -カジネンなどのセスキテルペン類、セスキテルペンアルコール類が増加した。

参考文献

- 1) 伊藤ら:平成 27 年度岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 18、pp. 5-9、2016.

家具用曲げ木の製造現場におけるスマート化 - 曲げ木工程のスマート化を目指して -

石原智佳*, 三井勝也*, 長谷川良一*

Approaches to making smart of the wood bending process

Chika ISHIHARA*, Katsuya MITSUI*, Ryoichi HASEGAWA*

近年、ものづくり業界において製造機器のスマート化が注目されている。機械が状況を判断し、良好な製造へ導くことが期待される。一方、飛騨の家具の特徴でもあり、長い歴史をもつ曲げ木であるが、樹種や形状の多様化によって、割れ・繊維切れ等の不良現象を抑えることが課題となっている。本研究では、曲げ木の改善にスマート化を取り入れるための検討を始めた。まずは工程ごとの不良現象の要因を判別し、改善に向けて取り組むべき項目に関して、これまでの研究で明らかになってきたことを含めて検討した。

1. 緒言

岐阜県飛騨高山地域は木製家具の産地である。『曲げ木』加工された部材が特徴的な椅子が多くみられる。この曲げ木は1920年頃に飛騨の家具に取り入れられた。当初はブナが主原料であったが、近年では、多様なデザインや良材の減少により、樹種も曲げ形状も多様化している。

木材が水分と熱で軟化する性質を利用する曲げ木は、水蒸気で蒸したり、水で煮たりし、高温・高水分な状態にして金型にはめて曲げ、乾燥により形状を固定する工程から成る。

100年に渡り受け継がれてきた曲げ木であるが、経験と感覚に基づく作業が多く、技術の継承が困難であり、木材の特性である個体差も影響し、不良率の高さが課題となっている。

一方で、ものづくりにおける『スマート化』が注目されている。ここでいうスマートとは、機械がコンピュータ制御によって状況に応じた対応をするといった意味で捉えることができ、品質や生産性の向上が大きな目的とされている。

曲げ木の工程にスマート化を取り入れることで、木材の状態を把握しながら曲げ、不良現象である割れ・しわを防ぐような機械制御の可能性が期待される。このためにも、どのような条件下で不良発生の有無が決まるのかといったことを把握する必要がある。

そこで本研究では、まず、工程ごとにスマート化に際し必要と考えられる情報を検討した。

2. 曲げ木工程の検証

2.1 樹種

既往の研究結果¹⁾から曲げやすいと判断されるブナ材を主として試験に供した。人工乾燥および天然乾燥させた板材を所定の寸法に加工した。また、家具に利用されているブラックウォルナット、ホワイトオークについても検討を加えた。

2.2 工程1：蒸し処理

蒸し方には、下段で水を煮沸させ、上段に置いた材を水蒸気で蒸す場合と、密閉容器内に水蒸気を送り込む場合がある。密閉であるが常圧であり、最高でも100℃という条件である。

良好な曲げ木加工に必要な含水率が樹種や密度によって異なることが既往の研究¹⁾で明らかになっている。ブナで20%、ホワイトオーク、ミズナラ及びブラックウォルナットは高密度材であれば20%で可能であり、低密度材ではさらに水分を必要とする。これらの含水率に至るまでの所要時間は樹種ごとに異なる吸湿性に依存する。また、吸湿しにくい樹種に関しては、長時間の蒸し処理による材劣化も考慮せねばならない。

スマート化では、蒸し前後の重量測定を簡便化し、所定含水率への到達を判断し、水分不足の場合は、蒸し追加の指示を出す仕組みとすることで、水分不足に起因する割れ不良の低減を目指す。

すでに重量測定を取り入れている製造現場がみられるが、密度によって必要な含水率が異なる¹⁾

* 試験研究部

ことから、材料の密度までも把握した材料分けを簡易に行う仕組みの検討をすすめる。また、高周波式含水率計であらかじめ含水率を推定する場合もみられるが、材の比重や厚さが数値に大きく影響するため、個体差が大きい樹種では機器側の設定が困難であることへの配慮が必要である。

2.3 工程2：曲げ加工

曲げの不良現象として、引張側のひび割れが非常に多い(図1)。曲げ木はトーネット方式と呼ばれる手法で行われることが多く、この手法では木材を帯鉄と呼ばれる型(図2)にはめ込み、引張応力が木材にかからないように曲げる工夫がされている。しかし、材厚さと帯鉄厚さのバランスによっては木材に引張応力が働き、ひび割れを引き起こすことが考えられる。

そこで、材厚さに応じて、適切な帯鉄厚さを算出することとした。木材と帯鉄用の金属を完全に一体化させた複合材料とみなすと、下記表1のような関係から帯鉄厚さを算出できる。すなわち、ここで式1により求める上端から中立軸までの距離が木材の厚さより大きい場合に、引張応力は帯鉄側に移動していることになる。

表1 木材・帯鉄一体化時における中立軸の算出

	弾性率 E_i [GPa]	厚さ h_i [mm]	幅 b_i [mm]	上端から中立軸 までの距離 [mm]
木材	E_1	h_1	b_1	式1
帯鉄	E_2	h_2	b_2	

式1：
$$\frac{(b_1 \cdot E_1 \cdot h_1^2 + b_2 \cdot E_2 \cdot h_2 \cdot (2 \cdot h_1 + h_2))}{2 \cdot (b_1 \cdot E_1 \cdot h_1 + b_2 \cdot E_2 \cdot h_2)}$$

鉄汚染防止対策として、帯鉄に使われる金属は、ステンレスが一般的である。しかし、経年劣化したステンレスが汚染源ともなり注意が必要である。また、古い帯鉄は帯鉄に残っている曲がりを元に戻しきれず木材との一体化が難しく、割れ防止のために細かな隙間に注意しなければならない。

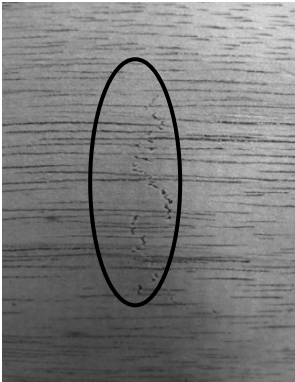


図1 曲げ木の引張側に生じる繊維切れ

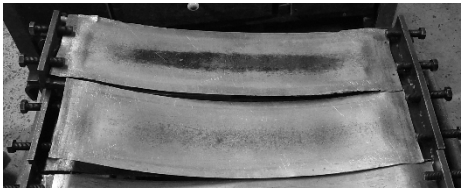


図2 曲げ加工の際の帯鉄の一例

2.4 曲げ形状の指標について

曲げ形状の指標には曲げ半径が用いられる。前報において、曲げ性能の評価として、曲げ試験で測定したたわみ量($h \cdot h'$)から許容曲げ半径($r \cdot r'$)を算出し、曲げ易さの指標とした^{1,2)}。結果から、曲げ型の形状が同じ場合、曲げたわみが大きいほど、算出曲げ半径が小さく、曲げ易いと考えられた(図3)。

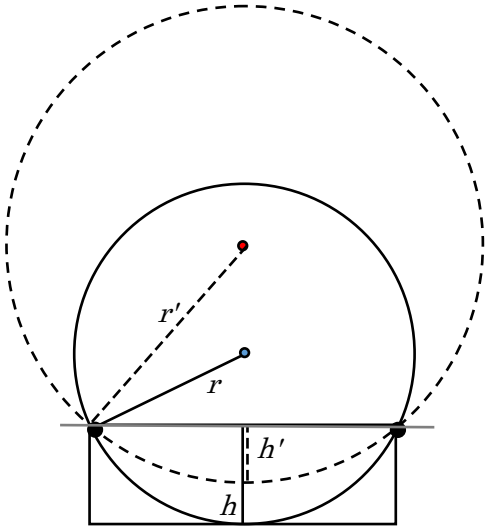


図3 曲げたわみと曲げ半径の関係

また、本研究ではこれまで、小試験体の曲げ性能から実大材も評価できるような指標を検討してきた。図4に試験体の寸法を異にするが、曲げ半径が同じ場合についてのモデルを示し、実用材(A)と小試験体(a)の比較について検討する。実用材の曲げ支点を $W \cdot W'$ 、小試験体のそれらを $w \cdot w'$ とし、同じ曲げ半径(r)の円(中心OおよびO')となるように曲げた際の両試験体の曲げたわみを h と h' とする。曲げ試験において試験体に破壊が生じずに、たわみ量が h あるいは h' に至ることで、曲げ半径 r の曲げ形状となる。曲げ前の支点間距離に対して、曲げ後は引張ひずみが追加されて円弧の長さになるが、この引張ひずみには樹種ごとに限界域がある。したがって、限界を樹種ごとに把握し、曲げ形状を決めることが必要となってくる。

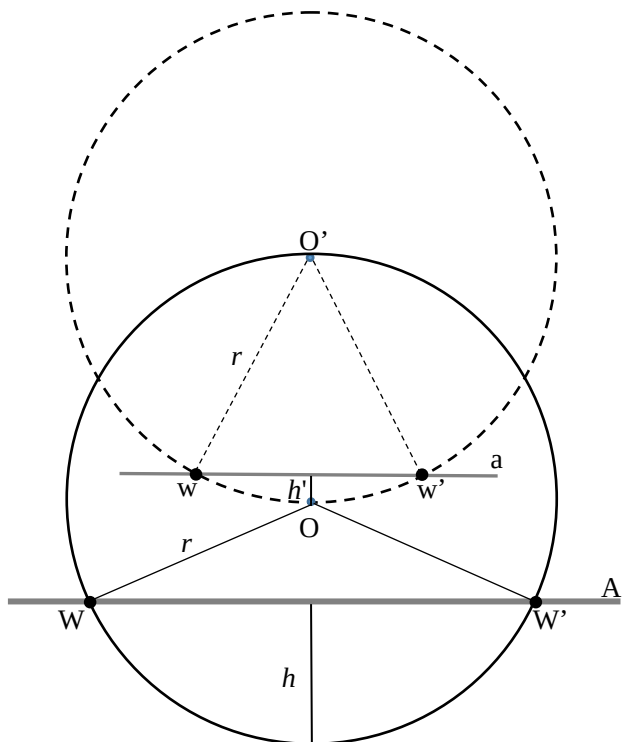


図4 試験体寸法と曲げ半径と曲げたわみの関係

また、曲げ試験において、材状態によって荷重 - たわみ曲線の挙動が異なることがわかっており³⁾、ブナの一例を図5に示す。気乾状態、20℃・20%含水率(MC)状態、蒸し後に10分冷却した20%MC状態、蒸し直後の20%MC状態の4条件での曲げ挙動を比較したところ、高温・高含水率状態ほど弾性領域の荷重が小さく、たわみが大きく変形していくことがわかる。この瞬時に判定できる弾性領域の挙動と曲げ加工の良否との相関性を把握し、スマート化の際の曲げ荷重の与え方を調整する効果を検討していきたい。

2.5 工程3：乾燥

曲げ形状を固定するためには、材の乾燥が必要である。乾燥室内での熱風乾燥あるいは高周波乾燥が一般的である。熱風乾燥では、樹種によって60～110℃の範囲で温度が異なる傾向にある。また、温度が低いほど、乾燥期間が長時間化する。

曲げ型に固定したまま乾燥させるので、金属と接する面に水分が残りやすい、乾燥割れと推察される不良が多いなど、改善すべき点が多数あるのが現状である。

高周波乾燥では材内温度が高くなりすぎて、内部割れや、焦げが生じるため、既往の研究⁴⁾で報告した乾燥スケジュールの立て方を基に、部材形状や樹種に合わせて、検討をすすめていく。

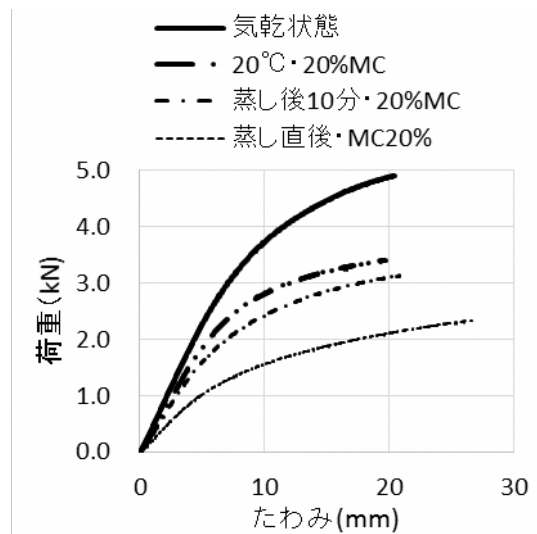


図5 温度・含水率状態が荷重 - たわみ曲線挙動に及ぼす影響 (ブナ材の場合)

熱風乾燥の場合、乾燥割れが起こらない温度、乾燥時間の検討が必要である。

3. まとめ

曲げ木の技術は長年の経験と勘に基づくところが多いが、高温・高含水率状態における木材の性質を理解し、加工に活かすことによって、曲げ木を科学的根拠に基づき行い、不良率を低減化できると期待される。

また、近年急速に製造業へ取り入れられている機器のスマート化であるが、曲げ木工程での活用も視野に検討を続けていく必要がある。

参考文献

- 1) 石原智佳他、家具用木材の高品質化に向けた曲げ木工程の最適条件の確立 (2)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 18、 pp. 30-33、2016.
- 2) 石原智佳他、家具用木材の高品質化に向けた曲げ木工程の最適条件の確立 (3)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 19、 pp. 15-17、2017.
- 3) 石原智佳他、家具用木材の高品質化に向けた曲げ木工程の最適条件の確立、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 17、 pp. 36-42、2015.
- 4) 石原智佳 木製家具における伝統技術の解明 (3)、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 11、 pp. 33-39、2009

低環境負荷素材を用いた建築用断熱材の開発（第3報） 和紙ファイバーの評価実験

木村公久^{*}，今西祐志^{*}，長谷川良一^{*}

Development of Building Thermal Insulators with Low Environmental Responsibility Materials (3) Evaluation experiment of Japanese paper fiber

Kimihisa KIMURA^{*}，Hiroshi IMANISHI^{*}，Ryoichi HASEGAWA^{*}

セルロースファイバーの吹込み施工の際に生じる沈降の抑制を図るため、セルロースファイバーに混合させる材料として新たに入手した和紙ファイバーを用いて、沈降量及び熱伝導率に関する性能評価を行った。

当所で行った実験結果では、セルロースファイバー20kg/m³に和紙ファイバー15 kg/m³を混ぜ合わせた総密度35 kg/m³の混合材料において、セルロースファイバー35 kg/m³に対して14%の沈降抑制効果が見られた。また、この混合材料の熱伝導率は0.0396W/m・Kであり、和紙ファイバーを混合させることによる断熱性の低下は無いことを確認した。

1. 緒言

住宅用断熱材として用いられているセルロースファイバー(以下、CF)について、前年度まではCFの密度の違い、また木質材料などを混合させた材料に関する沈降量や熱伝導率の評価を行った^{1,2)}。混合させる材料については、木削片の様な大きな材料よりも、ルーター屑の様な嵩がある材料の方が、沈降の抑制には有効であることが分かった。今回は、和紙をファイバー化した材料(以下、和紙ファイバー：WF)を新たに入手したため、この性能評価としてWF単体、またCF及びWFの混合材料について、沈降実験及び熱伝導率測定を行った。

2. 実験方法

2.1 供試体

図1に、実験に用いたCFとWFを示す。両材料とも



セルロースファイバー



和紙ファイバー

図1 材料

にTimberLife株式会社において、同条件下で製造されたものである。圧縮された状態の材料を、ポータブルブロワバキュームで実際の施工に近い状態に戻したものをを用いた。

沈降実験ならびに熱伝導率測定で設定した密度は、実際に天井へ施工されている量といわれる35kg/m³(以下、K)とした。この密度を総密度とし、CF35K、CF30K+WF5K、CF25K+WF10K、CF20K+WF15K及びWF35Kの5条件で比較を行った。混合材料については、ビニル袋の中に各材料を入れ、均一になるように手で攪拌した。

図2に、沈降実験用供試体を示す。1リットルのメスシリンダー(内径約62mm)に、上端が750mlの目盛りに合うように材料を均一に入れたものを、各



図2 沈降実験用供試体

(左からCF35K、CF30K+WF5K、CF25K+WF10K、CF20K+WF15K、WF35K)

^{*} 試験研究部

条件につき3体用意した。

図3に、熱伝導率測定用供試体を示す。材料は、沈降実験を行った各材料をビニル袋の中に入れ、空気と攪拌させてほぼ沈降実験前の状態に戻したものをを用いた。これを200×200×約30mmのフェノールフォーム保温板の中央部を150mm角で切り抜いた枠と、上下の蓋としてポリプロピレンシートで製作した測定箱の中に均一に入れたものを、各条件につき3体用意した。

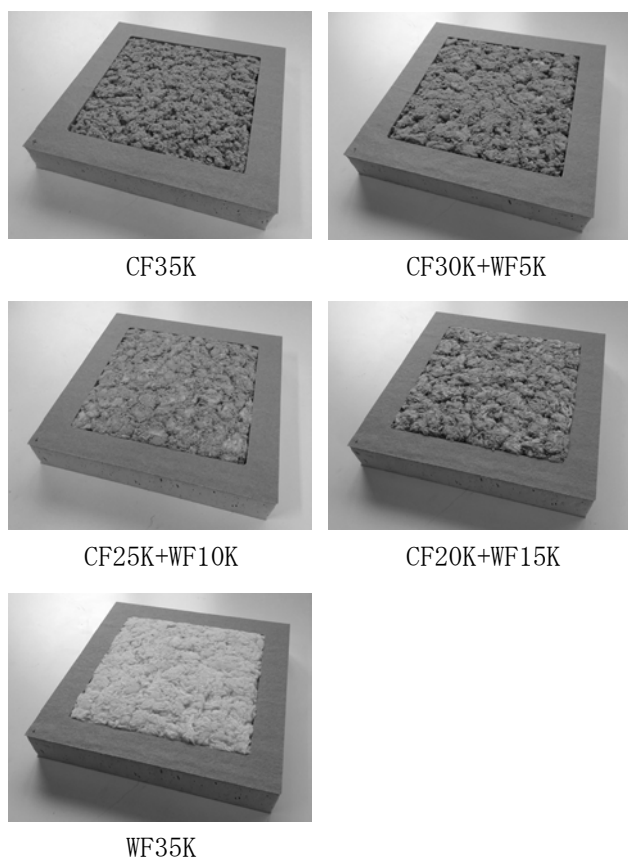


図3 熱伝導率測定用供試体

2.2 沈降実験

材料を充填したメスシリンダーを、20mmの高さから500回、続いて40mmの高さから200回手で自由落下させ、各回の体積を目視により確認する簡易



図4 沈降実験の様子(高さ 20mm)

的な方法とした。図4に、高さ20mmの沈降実験の様子を示す。

2.3 熱伝導率測定

英弘精機株式会社製の熱伝導率測定装置(HC-074/200)を用い、JIS A 1412-Part2³⁾に準拠した方法により、供試体の見かけの熱伝導率を測定した。温度条件は、平均温度が23℃で温度差は20℃(上部プレート13℃、下部プレート33℃)⁴⁾とした。また、測定1ブロックの測定点数は512とし、定常状態になった後の3ブロックの値から平均値を求めた。図5に、熱伝導率測定の様子を示す。



図5 熱伝導率測定の様子

3. 結果と考察

3.1 沈降実験

図6に、各供試体の沈降実験結果グラフを示す。WF35Kのみ、落下開始直後に750mlよりも体積が若干増える傾向が見られたが、結果としては全ての供試体において沈降は生じた。各条件の3体において多少のばらつきが見られたが、WFの量が少ないほど高さ20mm落下開始直後の沈降が急であり、また最終的な沈降量は多くなるという結果が得られた。今回の実験で使用した和紙ファイバーは、初めて製造したということで条件がまだ定まっておらず、大小様々な形状のファイバーが見受けられたため、この形状の違いが沈降量のばらつきに多少の影響を与えたのではないかと考える。

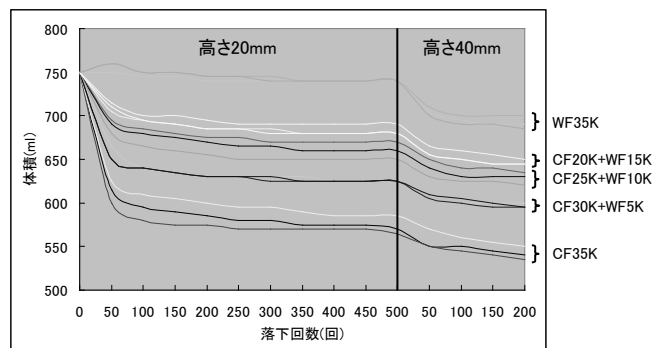


図6 沈降実験結果グラフ

表1に、各条件3体の結果から平均値を求めた沈降実験結果平均値を示す。なお、この表の沈降割合は高さ40mm落下後体積の割合を100から減算、また沈降抑制量はCF35Kの沈降割合から各材料の沈降割合を減算した値である。

CFとWFの沈降割合を比較すると、CF35Kの27.7%に対してWF35Kは7.7%であり、20%分の沈降量を抑制する結果が得られた。混合材料では、沈降割合はCF30K+WF5Kの20.4%からCF20K+WF15Kの13.7%であり、CF35Kに対する沈降抑制量は7.3%から14.0%であった。今回の実験結果から、WFを混合させることによって沈降の抑制効果が見られ、混合量が多いほど沈降抑制量も多いことが分かった。WFはCFよりもコストが高いということであるため、実際に施工する際には沈降抑制量とコスト計算による最適な混合比を求める必要はあるが、CFの沈降抑制として有効な材料であると考ええる。

表1 沈降実験結果平均値

	CF35K	CF30K + WF5K	CF25K + WF10K	CF20K + WF15K	WF35K
高さ 20mm 落下後体積	573ml 76.4%	625ml 83.3%	660ml 88.0%	683ml 91.1%	740ml 98.7%
高さ 40mm 落下後体積	542ml 72.3%	597ml 79.6%	628ml 83.7%	647ml 86.3%	692ml 92.3%
沈降割合(%)	27.7	20.4	16.3	13.7	7.7
沈降抑制量(%)		7.3	11.4	14.0	20.0

3.2 熱伝導率測定

表2に、熱伝導率測定結果を示す。WFが含まれている材料は熱伝導率が0.0392～0.0396W/m・Kであり、CFの一般的な値とされる0.04 W/m・Kを若干下回る値が得られた。CF35Kは0.0405W/m・Kであったが、測定箱の体積に対してCFの量が若干少なかったため、測定箱内の空気の影響によって値が僅かに大きくなったと考える。今回の測定結果から、WFを混合させることによる断熱性の低下は無いことが分かった。

表2 熱電伝導率測定結果

	CF35K	CF30K + WF5K	CF25K + WF10K	CF20K + WF15K	WF35K
熱伝導率 (W/m・K)	0.0405	0.0396	0.0392	0.0396	0.0393

4. まとめ

総密度35Kで各材料の沈降実験を行った結果、WFを混合させることによって沈降を100%抑えること

はできなかったが、3/7の量をCFからWFに代えたCF20K+WF15Kの混合材料では、CF単体に対して14%沈降を抑制する結果が得られた。ファイバーの形状や混ざり具合によって差は生じると思われるが、WFを混合させることによって沈降の抑制が期待できる結果となった。また、熱伝導率測定を行った結果、値はCF単体よりも僅かに小さく、断熱性の低下は無いことを確認した。以上のことより、製造方法などの検討課題は残っているが、WFはCFの沈降抑制として有効な材料であると考ええる。

謝辞

本研究の実施にあたり、ご協力いただいたTimberLife株式会社の近松慶孝氏に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 木村公久他、低環境負荷素材を用いた建築用断熱材の開発(第1報)セルロースファイバーと木質材料混合材の熱伝導率、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 18、pp17-19、2016.
- 2) 木村公久他、低環境負荷素材を用いた建築用断熱材の開発(第2報)セルロースファイバーの沈降実験、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 19、pp12-14、2017.
- 3) JIS A 1412-2、熱絶縁材の熱抵抗及び熱伝導率の測定方法―第2部：熱流計法(HFM法)、1999.
- 4) JIS A 9523、吹込み用繊維質断熱材、2016.

木質パネルのたわみ制御に関する研究（第1報）

有限要素法によるたわみ変形解析

今西祐志*, 村澤ちなみ*

Study on Deflection Control of Wood Panel (1) Analysis of Deflection by Finite Element Method

Hiroshi IMANISHI*, Chinami MURASAWA*

テーブルや収納棚などに用いられる木質パネルのたわみを制御する手法を提案するにあたり、木質パネルのたわみ変形解析に有限要素法を適用し、実験値との比較により妥当性の確認を行った。また、簡便にたわみを求める手法としてはりのたわみ式の適用についても検討した。その結果、有限要素法による解析結果は実験値とよく一致し、また、その解析結果とはりのたわみ式から求めた見かけの曲げ剛性はスパンを変更した場合のたわみ予測に利用できることが確認できた。

1. 緒言

テーブル天板や収納家具の棚板などの用途で使われる木質パネルは、水平の状態で鉛直方向の外力に耐えることが主な役割であり、過大なたわみが生じないよう十分な剛性を有することが求められる¹⁾。一方、使用者においては、個々の環境サイズに合った大きさの製品を任意の配置で使用する「使い勝手の良さ」が求められており、軽量であることも重要である。このような状況の中、高剛性と軽量という二つの特性を製品に付与するため、製品設計においては鉄芯などを補強材としてたわみ抑制を行いつつフラッシュパネル構造を採用した軽量化が図られているが、その設計は試作と評価試験の繰り返しによるものであり、多大な労力とコストがかけられている。そこで、有限要素法（FEM）を用いた解析により補強材の効果的な配置と枠材の構成を検討した木質パネルの開発を行うとともに、比弾性率の高いFRPの補強材としての適用を検討し、高剛性かつ軽量な木質パネルを志向した設計の効率化の検討に着手した。本報では、木質パネルのたわみ変形をFEMにより解析し、実験値との比較によりその妥当性を確認するとともに、簡便にたわみを求める手法としてはりのたわみ式の適用を検討した結果を報告する。

2. たわみ試験

2.1 試験体

試験体は矩形板で、外形寸法は長さ400, 700, 1000, 1300mm, 幅350mm, 厚さ18mmである。中実の試験体（PBシリーズ）はパーティクルボード単体のもので、中空の試験体（FP1シリーズ, FP2シリーズ）は厚さ12mmのパーティクルボードで組んだ枠に厚さ2mmのMDFを酢酸ビニル樹脂系接着剤で両面に貼ったものである。枠材は幅30mmで、FP1シリーズでは短手方向の枠材を等間隔に、FP2シリーズでは長手方向の枠材を等間隔に配置した。図1にFP1シリーズ, FP2シリーズの試験体の構成を示す。試験体数は各寸法につき3である。

2.2 試験方法

四辺単純支持とした試験体に中央集中負荷または等分布負荷を与え、前縁部中央においてたわみを測定した。図2にたわみ試験（中央集中負荷の場合）の概要を示す。荷重は中央集中負荷の場合で20kgf, 等分布荷重の場合で100kgf/m²である。たわみは負荷直後に変位計（（株）ミットヨ製, ID-C150XB, 最小表示量 0.001mm）を用いて測定した。

3. FEM解析

たわみ試験での変形をFEMにより計算した。計算にはオープンソースのCAEシステムであるDEXCS-WinXistr^{2,3)}を使用し、変形が長手方向及び

* 試験研究部

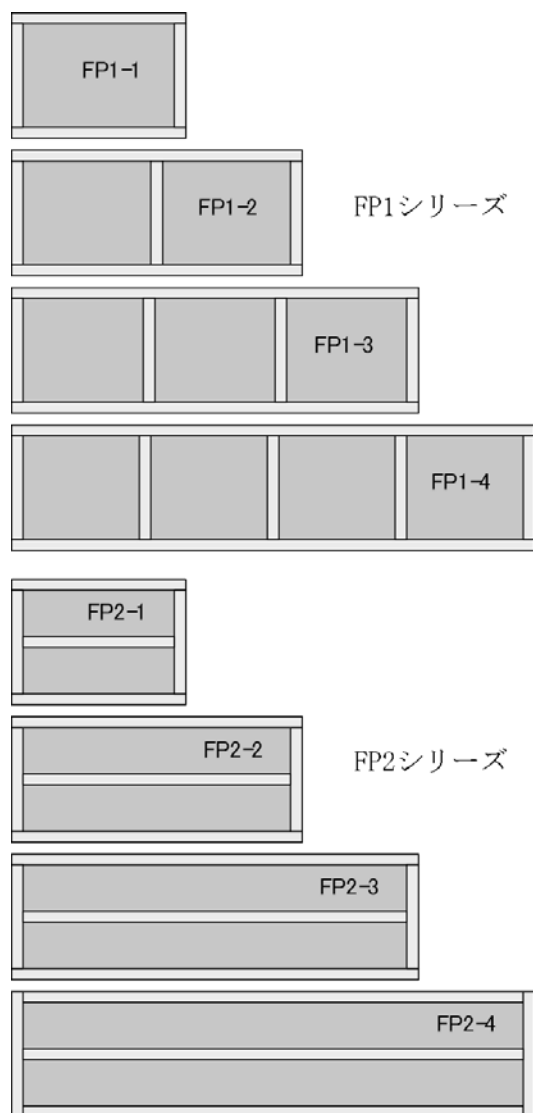


図1 試験体の構成

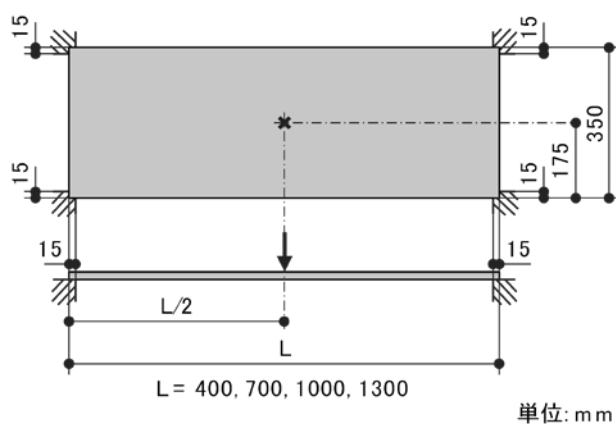


図2 たわみ試験の概要（中央集中負荷の場合）

短手方向の中心線を軸として対象であることを考慮して1/4部分を解析対象とした。材料は弾性体であるものとし、曲げ試験により求めた弾性率2.95GPa（パーティクルボード）及び3.36GPa（MDF）を用いて線形解析を行った。

4. 結果及び考察

4.1 たわみ試験

図3、図4にたわみ試験の結果を示す。各プロットの上下の誤差棒は標準偏差である。フラッシュパネル構造のFP1とFP2のたわみは、PBと比較して同等かやや小さい結果となっているが、重量はPBの60%程度であり、弾性率が高い面材を外層に配したフラッシュパネル構造とすることにより、高剛性かつ軽量のパネルとなっていることが確認できる。FP1とFP2を比較すると、FP2の重量はFP1より5%程度大きい、たわみは15%程度小さく、たわみを制御する上で芯材を適切に配置することが重要であることを示している。

4.2 たわみの計算値と実験値の比較

木質パネルのたわみ変形をFEMにより解析し、実験値と比較した。また、簡便にたわみを求める手法として、以下のはりのたわみ式の適用を検討した。

$$\delta = \frac{WL^3}{48EI} \quad (\text{中央集中負荷の場合}) \quad \cdots (1)$$

$$\delta = \frac{5wL^4}{384EI} \quad (\text{等分布負荷の場合}) \quad \cdots (2)$$

ここで、

δ : たわみ

W : 集中荷重

w : 分布荷重

L : スパン

E : 弾性率

I : 断面係数

図5、図6にたわみの計算値と実験値の比較を示す。計算値は全体的に実験値よりも大きい、これはたわみ試験における支持点での摩擦の影響⁴⁾を計算において考慮しなかったことによると推察される。しかしながら、FEMによる計算値は実験値と良い一致を示しており、FEM解析結果の妥当性を裏付けているものと考えられる。一方、はりのたわみ式による計算値と実験値との差はやや大きく、特にフラッシュパネル構造のFP1とFP2の等分布負荷の場合に顕著な差が見られた。

このように、木質パネルの材料物性からたわみを推定する場合、FEM解析は実験値に近い計算値が期待できる。はりのたわみ式による計算値は実験値との差は比較的大きいが、断面の性能が同じであれば異なるスパンに対してたわみが容易に推定

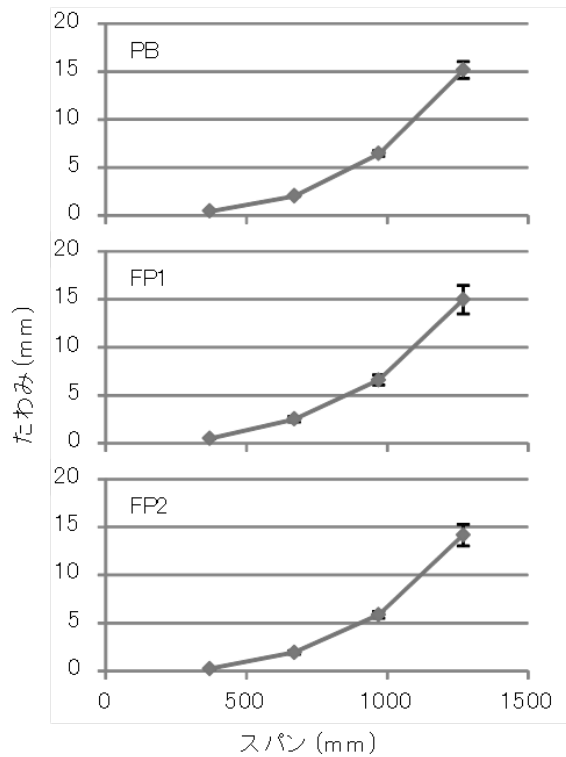


図3 たわみ試験結果（中央集中負荷の場合）

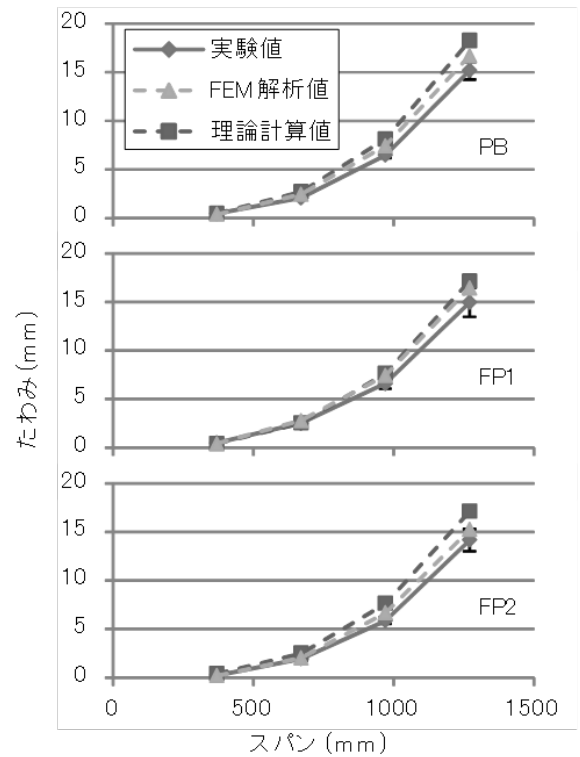


図5 たわみの計算値と実験値の比較（中央集中負荷の場合）

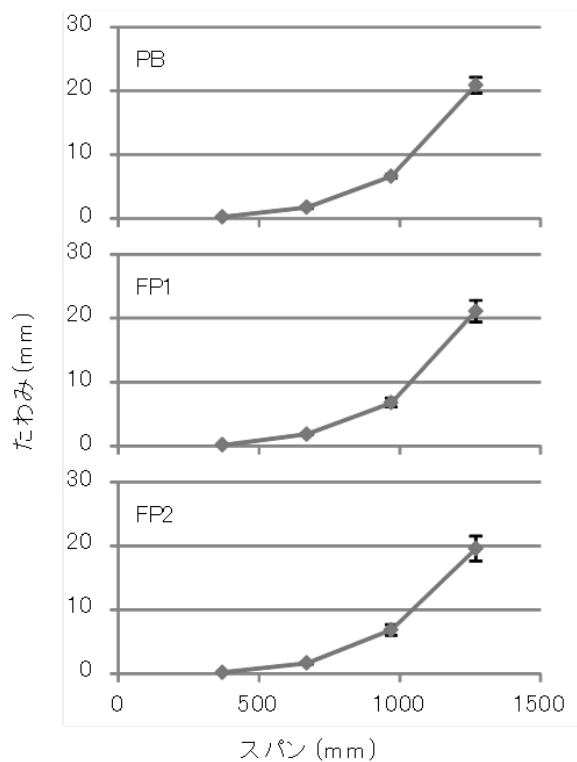


図4 たわみ試験結果（等分布負荷の場合）

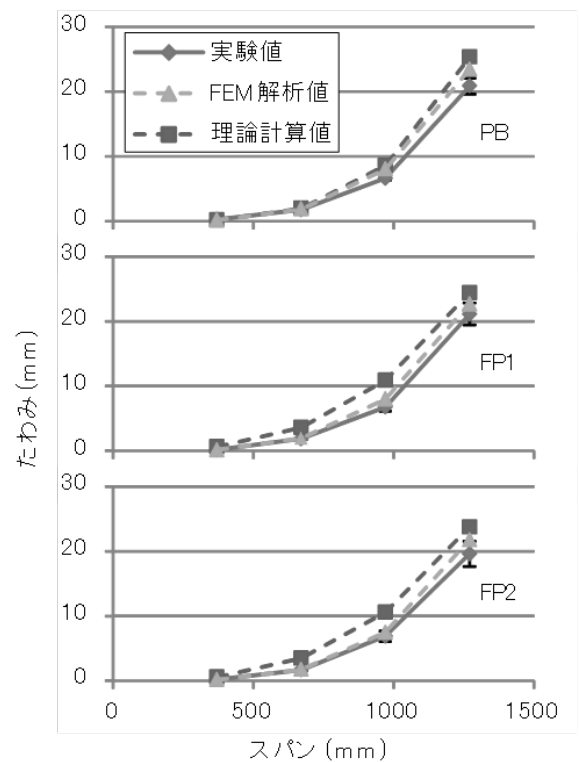


図6 たわみの計算値と実験値の比較（等分布負荷の場合）

できる。そこで、FEM解析による計算値からたわみ式（式(1)、式(2)）を用いて曲げ剛性（ EI ）を求め、これよりスパンとたわみの関係の推定を試みた。図7、図8にその結果を示す。ここでは、FEM解析結果のうち木質パネルの縦横比が約3の1000×350×18mmの場合を取り上げ、その解析結果から求めた曲げ剛性を用いた。計算結果は実験値と良く一致しており、たわみを推定する上で妥当かつ簡便で実用的な方法として活用できると考えられる。

5. まとめ

木質パネルのたわみを制御する手法を提案するための基礎的検討として、木質パネルを構成する部材の弾性率からたわみの推定を試みた。変形解析に有限要素法を適用し、実験値との比較により解析結果が妥当であることを確認した。また、あるスパンの有限要素解析の結果から、はりのたわみ式を用いて異なるスパンに対してたわみを簡便に求められることを確認した。

参考文献

- 1) JIS S 1031:2016, オフィス家具—机・テーブル；JIS S 1033:2015, オフィス家具—収納家具.
- 2) 柴田良一：“オープン CAE で学ぶ構造解析入門—DEXCS-WinXistr の活用—”, 朝倉書店, 2017.
- 3) FrontISTR 研究会, <https://www.frontistr.com/>, 2018 年 5 月 14 日参照.
- 4) 大槻敦巳, 支点摩擦を考慮した四点大たわみ曲げ変形の解析, 日本機械学会論文集 A 編 51(469), 2209-2215 (1985) .

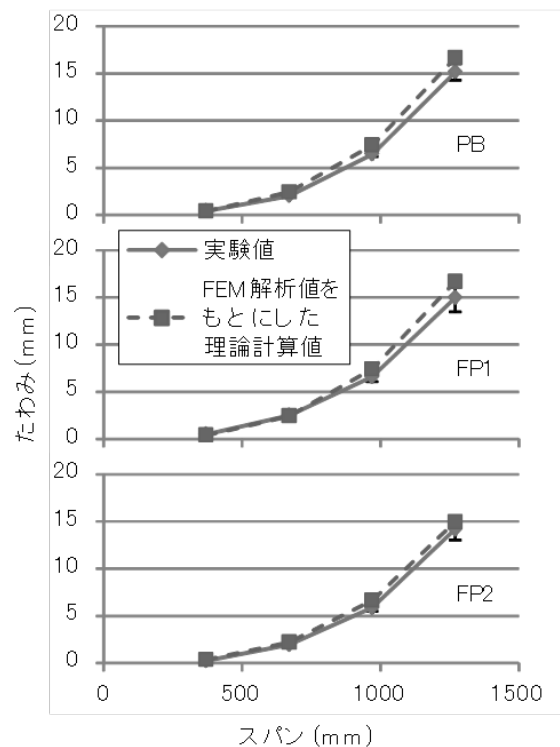


図7 たわみの計算値と実験値の比較
(中央集中負荷の場合)

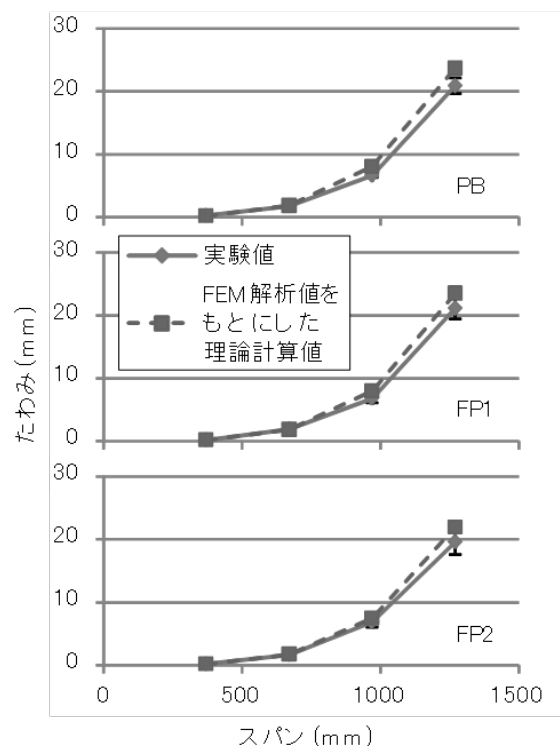


図8 たわみの計算値と実験値の比較
(等分布負荷の場合)

クッション硬さによる評価因子の違いと底付感の予測

藤巻吾朗*, 山口穂高*, 宮川成門*

Difference on Evaluating Factors According to Cushion Stiffness and Prediction of Bottom Touch Feeling

Goroh FUJIMAKI*, Hodaka YAMAGUCHI*, Naruto MIYAGAWA*

クッションの座り心地に関するアンケート調査結果について、その評価傾向を統計的な手法に基づき5つのグループに分類した。その結果、クッションの座り心地は、軟らかいクッションでは、主に触感と支持性の2つの因子で評価され、硬いクッションでは、主に支持性の1つの因子で評価されることが確認された。クッションの硬さの好み傾向と身体特性との関連性は見られず、触感はあまり気にしなく、身体の安定した保持を望む人は硬いクッションを好み、包み込まれるような触感を望み、一定の支持性があれば良い人は軟らかいクッションを好むと考えられた。また、身体特性とクッションの物理特性から座り心地の評価に影響の大きい底付感の有無を予測する判別式を提案した。これにより、底付感を70%程度の中率で予測することが可能となったが、底付感がない条件の判別の中率が悪く、改善の余地が残った。

1. 緒言

近年、家具製品の市場は二極化しており、製品やサービスの高付加価値化、またはそれに伴う新たな市場の開拓が重要視されている。本研究では、これまであまり取り扱われなかったオーダーメイドやフィッティングに関する技術に着目し、個人の体格や好みに合わせて家具製品をカスタマイズする技術、または既存製品の中から提案するための基盤技術の構築を目指す。

昨年度の研究で、クッションの座り心地は、座ることの基本性能である「支持性」と「触感」に分けて考えることができ、クッションの座り心地評価は好みの個人差が大きい「触感」の影響が強いと考えられた¹⁾。本年度は、アンケートの評価傾向に基づき分類することで、より詳細な分析を行う。それにより、評価傾向に応じて重視する評価項目の違いや硬さの好みについて考察し、個人の体格や好みに合ったクッション提案のための一助とする。

2. クッションの座り心地のアンケート調査

2.1 調査概要

調査には過去の実験データを使用した²⁾³⁾。特性の異なる39種類のクッション(40mm厚)を幅450mm、奥行き450mm、座面高380mmの実験用椅子に固定し、被験者はそれぞれ7~9種類のクッションに着座し、座り心地に関するアンケートに回答した。統制条件として毎回提示したクッション1種類は被験者207名であり、その他のクッションは、1つ辺り40~44名の被験者数であった。

2.2 アンケート内容

表1に示した12項目について、アンケート調査を実施した。アンケート項目のうち①②については5段階評価、③~⑫については該当する項目にチェックを入れる方法であった。

①②についてはクッションごとに平均値を算出し、③~⑫はクッションごとにチェック数をカウントし、回答者数に対する比率を算出した。

2.3 クッションの物理特性の測定

39種類のクッションについて荷重-変位特性を測定した。直径200mmの円盤を用いて300mm/minの速さで垂直荷重を加え、クッション厚の75%の変位を与えた。測定の際は事前にそれぞれ1回の予備圧縮を加えた⁴⁾。

* 試験研究部

測定結果については、押し込み時のデータのみ使用し、スプライン補間を行い1kgf毎の変位量 (mm) を抽出した。また、前後1kgfを含む1kgf毎のヤング率を算出した。

表1 アンケート項目

①総合評価	⑦下から押し上げられる感じ
②座面の硬さ	⑧底につく感じ
③表面の当たりが強い	⑨跳ね返る感じ
④表面の当たりが弱い	⑩包み込まれる感じ
⑤深く沈み込む感じ	⑪ふかふかした感じ
⑥しっかりと支えられる感じ	⑫フィットする感じ

3. クッションの評価傾向の分析

3.1 評価傾向による分類

欠損値等のなかった回答結果、計1,599ケースの全てのアンケートの回答結果を用いて、クラスター分析 (ward法) を行い、クッションの評価傾向を5つのクラスターに分類した。分類された5つのクラスターの概要を表2に示す。

硬いと感じるクッションや軟らかいと感じるクッションは複数のクラスターに分類され、座り心地の評価が分かれるのに対し、中程度の硬さと感じるクッションはクラスター3に集約されていた。クラスター3は座り心地の評価のばらつきが小さく、「ふつう」であることから、公共施設などに向くと考えられるが、個人使用に対しては、高い座り心地の評価を得ることは難しいことを示すと考えられた。

表2 クラスター分析結果の概要

クラスター番号	評価傾向
1	硬く、座り心地が良いと評価
2	硬く、座り心地が悪いと評価
3	中程度の硬さで、座り心地が普通と評価
4	軟らかく、座り心地が悪いと評価
5	軟らかく、座り心地が良いと評価

3.2 クッション硬さによる評価因子の違い

アンケート項目それぞれについて、クラスター間の比較を行った結果を以下に示す。

昨年度の研究¹⁾で触感に含まれると定義した「包み込まれる感じ」「深く沈み込む感じ」「ふかふかした感じ」の3項目は軟らかいと評価されたクッション (クラスター番号4、5) で回答率が高く、硬いと評価されたクッション (クラスター番号1、2) では回答率が低かった (図1～図3)。また、「包み込まれる感じ」については、座り心地の評価が高い条件で回答率が高かった。「深く沈みこむ感

じ」「ふかふかした感じ」については、座り心地の評価が高い条件と低い条件で回答率にあまり差は見られなかった。

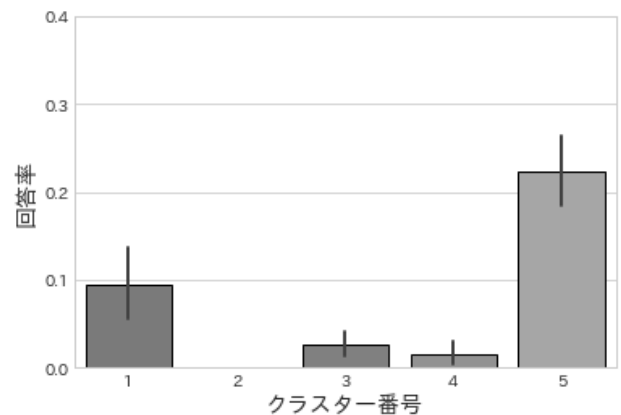


図1 「包み込まれる感じ」の回答率

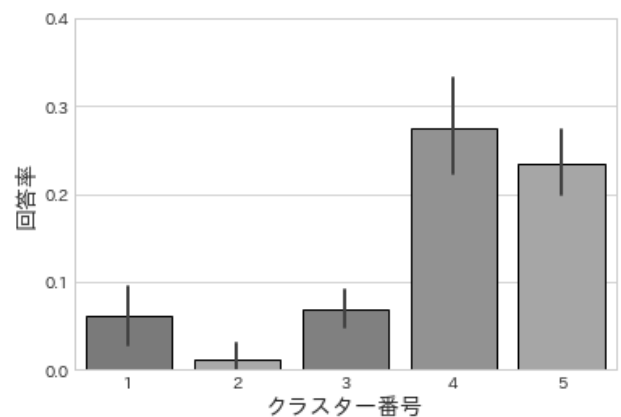


図2 「深く沈み込む感じ」の回答率

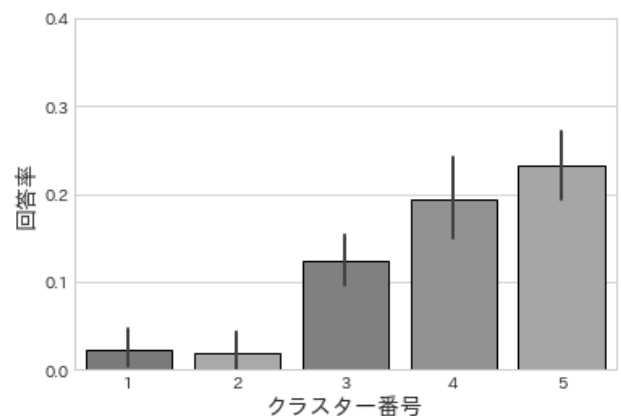


図3 「ふかふかした感じ」の回答率

昨年度の研究¹⁾で基礎的な感覚に含まれると定義した「跳ね返る感じ」「下から押し上げられる感じ」の2項目は硬いと評価されたクッション (ク

クラスター番号1、2) で回答率が高く、軟らかいと評価されたクッション (クラスター番号4、5) では回答率が低かった (図4～図5)。「跳ね返る感じ」については、座り心地の評価が低い条件でやや回答率が高い傾向が見られた。「下から押し上げられる感じ」については、座り心地の評価が高い条件と低い条件で回答率にあまり差は見られなかった。

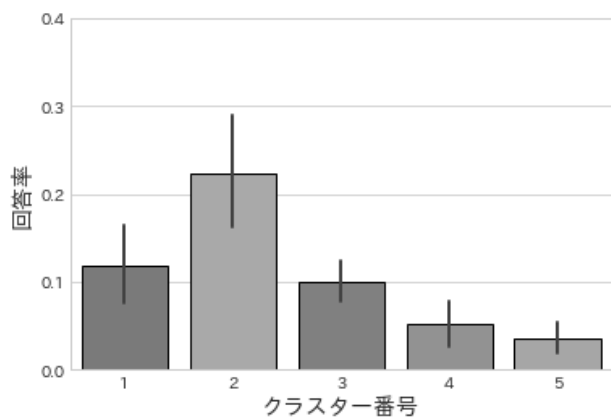


図4 「跳ね返る感じ」の回答率

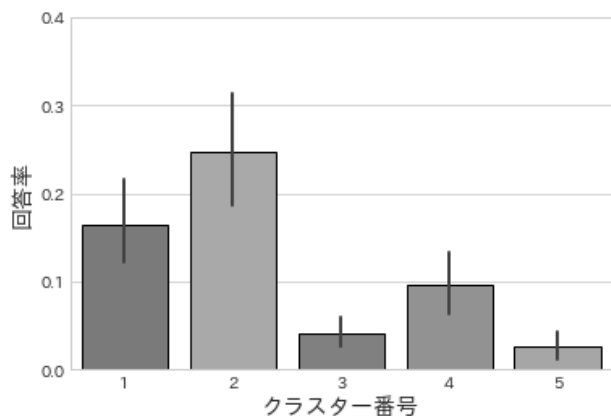


図5 「下から押し上げられる感じ」の回答率

昨年度の研究¹⁾で支持性に含まれると定義した「しっかりと支えられる感じ」「底につく感じ」の2項目はクッションの硬さに関わらず回答率が高かった (図6～図7)。「しっかりと支えられる感じ」は座り心地の評価が高い条件で回答率が高く、軟らかいと感じるクッションと比較して、硬いと感じるクッションで回答率が高かった。「底につく感じ」は座り心地の評価が低い条件で回答率が高く、硬いと感じるクッションと比較して、軟らかいと感じるクッションで回答率が高かった。

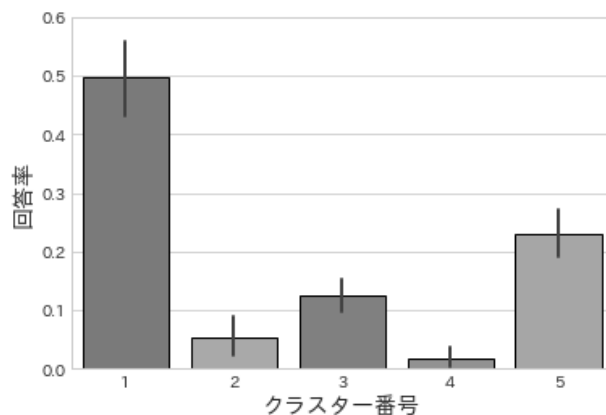


図6 「しっかりと支えられる感じ」の回答率

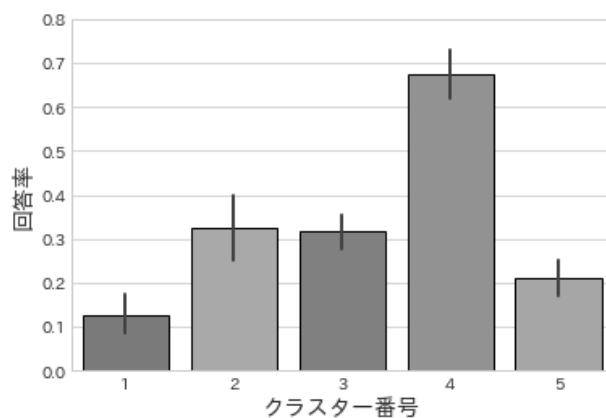


図7 「底につく感じ」の回答率

以上のことから、軟らかいクッションの座り心地を評価する際は、主に触感と支持性の2つの因子で評価され、その中でも特に「包み込まれる感じ」「底に付く感じ」「しっかりと支えられる感じ」が重要となることが確認された。また、軟らかいクッションは、硬いクッションに比べて底付感が生じやすいため、支持性の因子の中でも底付感を重視した評価になりやすいことが示された。

硬いクッションの座り心地を評価する際は、主に支持性の1つの因子で評価され、その中でも特に「しっかりと支えられる感じ」「底につく感じ」の2つが重要となることが確認された。また、支持性の下位概念にあたる物理的な感覚の「跳ね返る感じ」が補足的に評価に関わっており、身体の安定した支持が重要となると考えられた。

クッションの硬さの好み傾向と身体特性との関連性は見られず (図8)、触感はあまり気にしなく、身体の安定した保持を望む人は硬いクッションを好み、包み込まれるような触感を望み一定の支持性があれば良い人は軟らかいクッションを好むと考えられた。

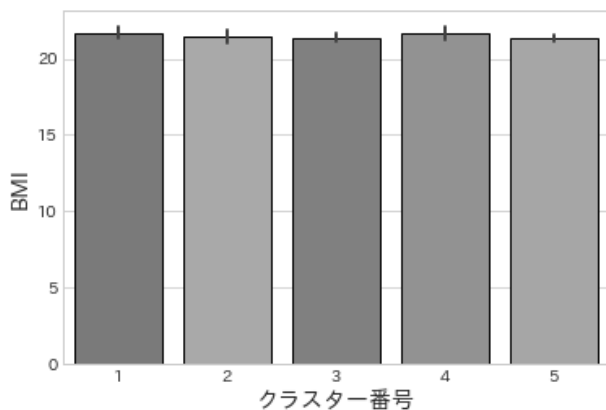


図8 各クラスターに属する被験者のBMI平均

4. 判別分析による底付感の推定

4.1 判別分析の概要

底付感は座ることの基本性能である支持性の中でも特に重要であり、底付感がないことは、クッション付加した製品において最低限必要な性能であると考えられる。ここでは、判別分析を行うことで、座る人の身体特性とクッションの荷重－変位特性をもとに底付感の有無を予測する判別式の提案を行う。

4.2 分析データについて

クッションの物性データについては、それぞれの被験者ごとに体重から臀部にかかる荷重を計算し^{5)~7)}、クッションの荷重－変位特性からその荷重が加わった時の変位量、前後1kgfを含むヤング率を求めた。また、クッションのヒスロス率を算出した⁴⁾ (図9)。

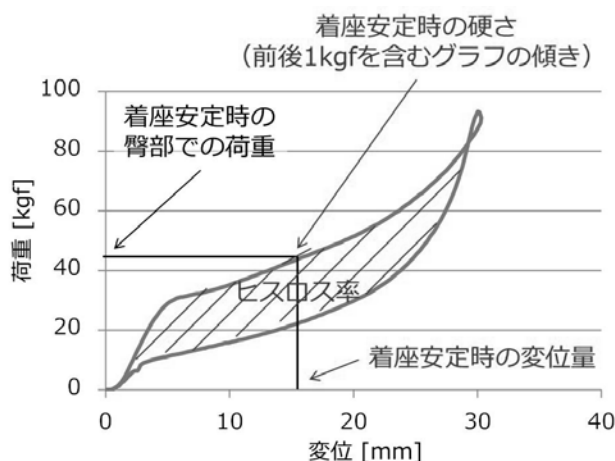


図9 判別分析に使用したデータ

アンケートの回答結果の内、判別分析に必要な全てのデータを含む有効回答数は1,013ケースであった。有効データのうち、513ケースをモデリングデータ、500ケースを検証データとしてランダムに抽出した。

4.3 判別分析結果と検証

モデリングデータを用いて判別分析を行った結果、(1)式のような判別式が得られた。また、得られた判別式に検証データを代入し、妥当性の検証を行った。表3にモデリングデータでの判別結果、表4に検証データでの判別結果を示す。

モデリングデータ、検証データでの判別結果に大きな差はなく、クッションサンプルや被験者に対する判別式の汎用性について大きな問題はないと考えられた。判別の中率については、実際に底付感のあったケースに関しては的中率が80%前後であったが、実際に底付感のなかったケースの判別の中率が60%前後と低く、底付感のリスクをある程度把握することが可能となったが、改善の余地が残った。

$$y = 0.122x_1 + 0.377x_2 + 0.044x_3 - 0.151x_4 - 2.612 \quad (1)$$

x_1 : 着座安定時の変位量 [mm]

x_2 : 着座安定時の硬さ [kgf/mm]

x_3 : クッションのヒスロス率 [%]

x_4 : 被験者のBMI

$y > 0$: 底付感あり

$y < 0$: 底付感なし

表3 モデリングデータでの判別結果

		予測値		判別的中率
		底付感なし	底付感あり	
観測値	底付感なし	233	119	66.2%
	底付感あり	35	126	78.3%
		全 体		70.0%

表4 検証データでの判別結果

		予測値		判別的中率
		底付感なし	底付感あり	
観測値	底付感なし	191	124	60.6%
	底付感あり	26	159	85.9%
		全 体		70.0%

5. まとめ

本研究より得られた知見を以下に示す。

- 軟らかいクッションの座り心地を評価する際は、主に触感と支持性の2つの因子で評価され、硬いクッションの座り心地を評価する際は、主に支持性の1つの因子で評価される。
- クッションの硬さの好み傾向と身体特性との関連性は見られず、触感はあまり気にしなく、身体の安定した保持を望む人は硬いクッションを好み、包み込まれるような触感を望み一定の支持性があれば良い人は軟らかいクッションを好むと考えられた。
- 底付感は軟らかいクッションでも硬いクッションでも生じる感覚であり、クッションの硬さに関わらず、座り心地の評価が低い条件で回答率が高かった。一般的に底付感は硬いクッションでは生じにくい感覚であると考えられ、底付感が統一された感覚として評価されているかについては今後の課題として挙げられた。
- 座り心地の評価に影響の大きい底付感について、身体特性とクッションの物理特性から座り心地の評価に影響の大きい底付感の有無を予測する判別式を提案した。底付感のリスクを70%程度の的中率で把握することができたものの、過剰に評価する傾向があり、改善の余地が残った。

参考文献

- 1) 藤巻吾朗ほか、家具製品のカスタマイズ技術に関する研究～体格や好みに合わせたクッション選定における課題の抽出、平成 28 年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 35-39、2017
- 2) 成瀬哲哉ほか、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）、平成 17 年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 17-26、2006
- 3) 成瀬哲哉ほか、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 11 報）、平成 17 年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 27-33、2006
- 4) JIS K6400-2、軟質発泡材－物理特性の求め方－第 2 部：硬さ及び圧縮たわみ、2004
- 5) 三家礼子、藤巻吾朗、田村義保、野呂影勇、体型による適合クッションの推定-ファジー推論モデルと重回帰モデルによる検討、人間工学、Vol. 39、No. 6、pp. 275-281、2003
- 6) 小原二郎、内田祥哉、宇野英隆（編）、建築・室内・人間工学、鹿島出版会、pp. 29-54、1969
- 7) （社）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. 126-166、2002

人間工学に基づいた家具製品的设计支援ツールの開発

藤巻吾朗*, 山口穂高*, 宮川成門*

Development of an Ergonomic Design Support Tool for Furniture Products

Goroh FUJIMAKI*, Hodaka YAMAGUCHI*, Naruto MIYAGAWA*

人体寸法をもとに体格に合った家具の設計推奨値を算出するアプリケーションの開発を行った。対象とした家具はダイニングチェア・テーブル、パーソナルチェア、収納棚であり、先行研究や過去に当所で行った研究成果をもとに身体負担が小さく、快適に使用できる設計条件を算出する機能を持たせた。人体寸法の予測については現状では日本人の標準的なプロポーションにのみ対応しており、今後は人体寸法の予測精度の向上や体格の異なる人が共用する場合の設計参考値を提案する機能の付加を進め、開発や販売現場への普及を目指す。

1. 緒言

近年、家具製品の市場は二極化しており、製品やサービスの高付加価値化、またはそれに伴う新たな市場の開拓が重要視されている。本研究では、これまであまり取り扱われなかったオーダーメイドやフィッティングに関する技術に着目し、個人の体格や好みに合わせて家具製品をカスタマイズする技術、または既存製品の中から提案するための基盤技術の構築を目指す。

先行研究や過去に行った当所の研究成果より、人体寸法をもとに家具の設計参考値を算出する方法が提案されているが、算出に必要な各部の人体寸法値の取得、計算式の汎用性の問題、計算式が多く手間がかかることなどから、現場での活用は困難であった。本研究では、人体寸法をもとに体格に合った家具の設計参考値を算出するアプリケーションの開発を行う。それにより、個人や特定のターゲット層に合わせた家具製品の開発、既存製品のカスタマイズ（フィッティング）の効率化を目指す。

2. 設計支援ツールの概要

Filemaker Pro 16を用いて、入力した人体寸法をもとにその体格に合った家具（椅子、テーブル・机、収納棚）の設計値を算出するアプリケーションを試作した（図1）。

アプリケーションは大きく分けて、身長から家具の設計に関わる各部の人体寸法を予測する機能、予測された人体寸法をもとに体格に合う家具の設計参考値を算出する機能の2つの機能があり、それ

ぞれの機能については後述する。対象とする家具は、現在のところ、ダイニングチェア・テーブル、パーソナルチェア、収納棚であり、先行研究や過去に当所で行った研究成果をもとに身体負担が小さく、快適に使用できる設計参考値を算出する。

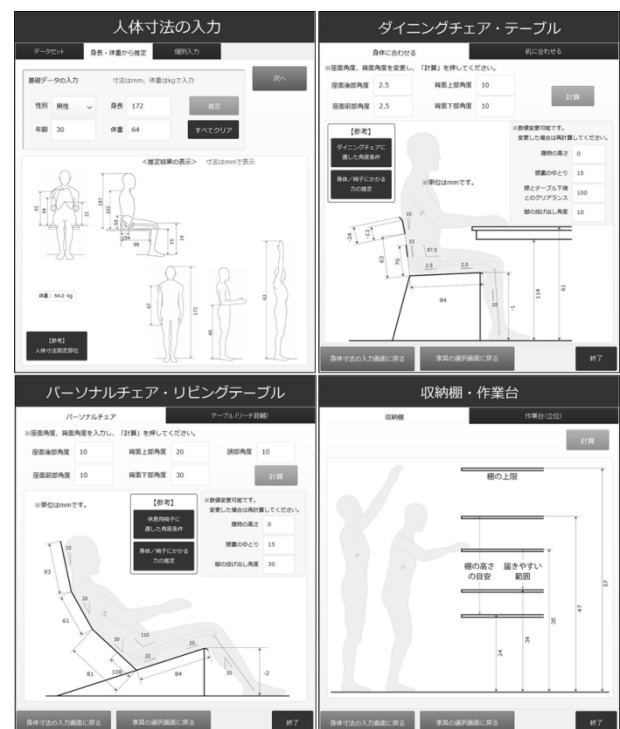


図1 設計支援ツール概要

* 試験研究部

3. 家具設計に関わる人体寸法の予測

設計参考値を算出するために必要な人体寸法は家具によって異なるが、合計で14項目あり、すべての項目の計測やデータ入力が発行や販売の現場においては困難である。そのため、統計量のデータベース化や身長などの代表的な値からの推定が必要となる。ここでは、人体寸法データベース¹⁾をもとに身長と各部の人体寸法値との回帰直線と95%予測区間をそれぞれ求め、身長からの推定式および推定誤差範囲を求めた(図2)。

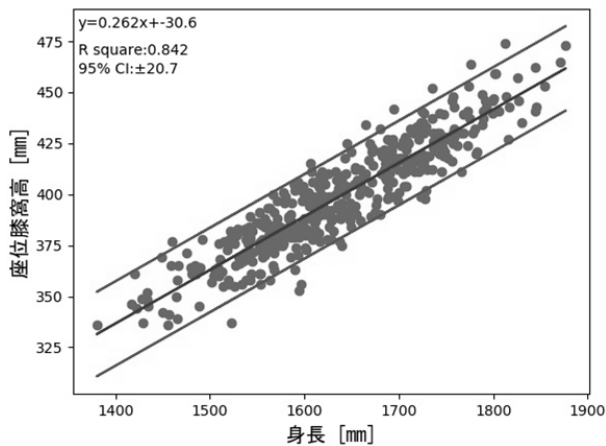


図2 身長からの推定式の一例
(相関の高い事例：座位膝窩高)

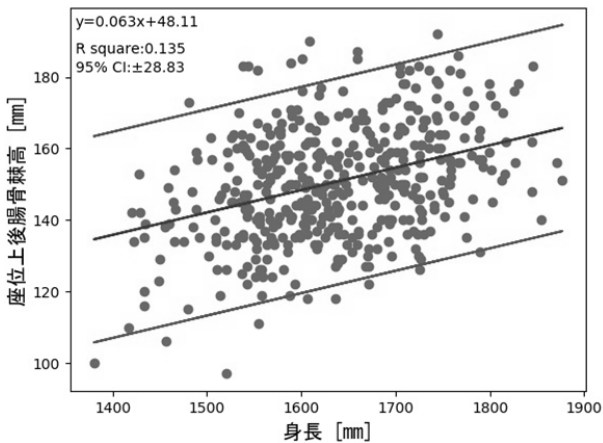


図3 身長からの推定式一例
(相関の低い事例：座位上後腸骨棘高)

骨盤周辺の人体寸法については、身長との相関が低く、その予測方法には課題が残った(図3)。骨盤周辺の人体寸法は、椅子の座面と背もたれの角度条件が変化した場合の設計参考値の算出に関連しており、現状では座面と背もたれの間の角度が90度で設計値の推定誤差が最小となり、角度が大きくなるほど、推定誤差が大きくなる。

4. 体格に合わせた家具の設計方法

4.1 椅子

座面高については、過去の実験データ²⁾に基づき、 $0.907 \times \text{座位膝窩高} + 22\text{mm}$ を計算式とした(図4)。座面高の算出には一般的に使用されている計算式が複数存在するが、計算結果にあまり差がないことや、主観的な座り心地の許容範囲も推定可能であることから、上述の計算式を用いた。座面奥行きについては、座位殿・膝窩距離-ゆとり(15mm)とし、ゆとりの値は自由に変更できる仕様とした。

背もたれの設計については、過去の研究成果より骨盤部の接触位置、背もたれ支持・屈曲位置、肩部支持・屈曲位置を算出した^{3)~5)}。

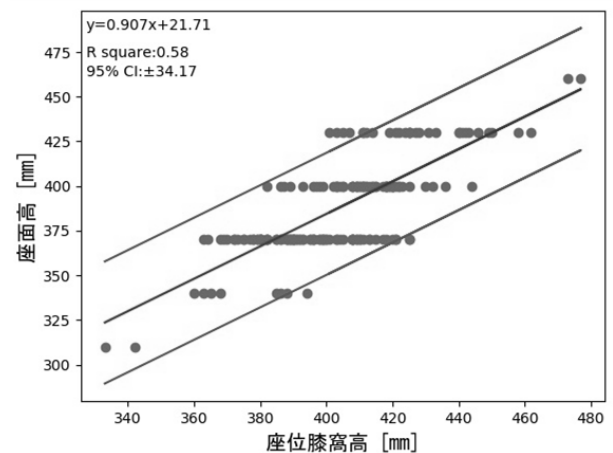


図4 座位膝窩高と座り心地の評価が高い座面高

4.2 テーブル、デスク

作業面高は座面高+差尺とし、差尺は座高の1/3-50mm⁶⁾とした。差尺については、座高の1/3を基準とした計算式が用いられることが多いが、身長や座高と関係なく、食事やパソコン作業では250~280mm程度が身体への負担が小さく、作業しやすいとの結果も出ており⁷⁾、その算出方法には検討の余地が残る。

座面と作業面の下端部については、座位膝蓋高+ゆとり(100mm)とし、ゆとりの値は自由に変更できる仕様とした。

4.3 収納棚、立位作業台

収納棚および立位作業台の設計参考値の算出については、ガイドライン⁸⁾を参考にした。

5. 今後の課題と展望

以下の項目が今後の課題として挙げられた。

- ・ユーザーインターフェイスや機能の改善

本研究において試作開発した設計支援ツール

を関連企業の開発や販売の現場で試用してもらい、ユーザーインターフェイスや機能の改善を進める。

- 人体寸法の予測精度の向上

骨盤周辺の人体寸法は身長との相関が低く、推定誤差が大きい。解剖学的特徴点も探しにくく、人体計測を行うのも難しい部位であり、身長以外の部位からの予測方法や簡易的な測定方法を検討する。また、現在は日本人の標準的なプロポーションのみに対応しているが、今後は身長以外の人体寸法値も考慮することで体型の個人差にも対応を進める。

- テーブル共用時の寸法設計について

体格が異なる人がテーブルを共用する際の設計推奨値を検討する。過去の研究成果より、身長差が約11～12cmであれば共用が可能と考えられるが、それ以上の身長差での対応方法はまだ不明である。座面高と奥行きの関係によっては脚部を除く身体負担への影響が小さいと考えており、今後はより広い範囲の身長差への対応やその際の留意点について検討する。

- クッションを付加した製品の設計参考値

ソファなどの製品でクッションを付加した際には、利用者の体重によってクッションの沈み込み量が異なり、設計参考値にずれが生じる。被験者の体重とクッションの荷重－変位特性のデータから沈み込み量を計算し、設計参考値を修正する機能を検討する。

謝辞

本研究は、早稲田大学野呂研究室で行っていたチェアクリニックの活動から着想を得ており、ご指導いただいた早稲田大学の野呂影勇名誉教授ならびに当時の活動に関わっていた研究室の方々に感謝いたします。また、本研究の一部は越山科学技術振興財団の助成を受け実施しましたことをここに記し、感謝いたします。

参考文献

- 1) 河内まきこ、持丸正明、2005 AIST 人体寸法データベース、産業技術総合研究所 H16PR0 287
- 2) 安藤敏弘ほか、人体負荷を考慮した家具の最適設計（第2報）、平成15年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 1-12、2004
- 3) 藤巻吾朗ほか、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8報）、平成17年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 17-26、2006
- 4) 藤巻吾朗ほか、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9報）、平成17年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 17-26、2006
- 5) 藤巻吾朗ほか、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17報）、平成18年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 20-29、2007
- 6) 戸上英憲、野呂影勇、VDT 作業台の最適高さの研究、人間工学、23、3、pp. 155-162、1987
- 7) 安藤敏弘ほか、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3報）、平成16年度岐阜県生活技術研究所研究報告、pp. 17-26、2005
- 8) 社団法人 人間生活工学研究センター、高齢者向け日常生活関連機器・設備設計ガイドライン、
https://www.hql.jp/database/wp-content/uploads/person_base-guide-life.pdf

子どもに適した家庭用家具（学習机・椅子）の設計指針に関する研究 （第3報）椅子の座面高と奥行きの関係の調査

山口穂高^{*1}, 藤巻吾朗^{*1}, 宮川成門^{*1}, 上田祥輝^{*2}, 吉田宏昭^{*2}

Design Guide for Children's Desks and Chairs (3) Study on Combination with Chair's Seat Height and Depth

Hodaka YAMAGUCHI^{*1}, Goroh FUJIMAKI^{*1}, Naruto MIYAGAWA^{*1},
Yoshiki UEDA^{*2}, Hiroaki YOSHIDA^{*2}

使用者にとって座面高が高い椅子の座面高と奥行きの関係を調査するために、座面高5条件（300mm、400mm、500mm、600mm、700mm）において、奥行きを計測する実験を行った。

その結果、できるだけ深く座った際の奥行きは、座面高が下腿長より低い場合は上腿長と同程度であり、座面高が下腿長より高い場合は座面高が高いほど狭くなることが分かった。できるだけ浅く座った際の奥行きは座面高が変化しても大きくは変化しないことが分かった。また、被験者の体型差を考慮するために座面高と奥行きを被験者の身長によって基準化し、座面高と奥行きの関係を調査した。その結果から使用者にとって座面高が高い場合の最小奥行きと最大奥行きを算出し、奥行きの設計値を提案した。

1. 緒言

少子高齢化社会の現代において、子どもの学習環境の充実は次世代を担う人材育成において重要視されている。中でも家庭用の学習机および椅子（以下：学習家具）は子どもが日常的に使用するために、子どもの学習環境に与える影響は大きい。本研究では子どもに適した学習家具の設計指針の導出を目的とした研究を実施することで、子どもの学習環境の充実と家具メーカーの製品企画力向上に寄与することを目指す。

昨年度の報告¹⁾では子どもの成長に伴う体型変化への対応として差尺に着目し、差尺と天板の傾斜角の組合せを調査した。その結果、天板に傾斜をつけることで、フラットな天板よりも高い位置での作業がしやすいことが明らかとなり、体型変化への対応に有利であることが分かった。一方で前報は、座面高を固定し、背もたれを用いない状態での調査であったため、椅子側の体型変化への対応が課題として残った。

膝関節と股関節が直角になる姿勢（以下、直立着座）で着座することを想定すると、成人用の椅子は子どもにとって座面高が高すぎて足が接地せず、

奥行きが深すぎて背もたれに届かない。そのため、一般的な子ども用の椅子は座面高および脚置き高さの調整と奥行きの調整により成長に伴う体型変化に対応している。一方で、人体には脂肪や筋肉の柔軟性と関節の自由度があるために、直立着座より高い座面高でも奥行きを浅くすることで立位に近い着座姿勢を取ることができる（図1）。この姿勢を適切に保持することができれば、一定の座面高で奥行きを調整するだけで体型変化に対応できると考えられる。しかし、座面高が変化した場合の座面高と奥行きの関係は調査されておらず、その関係性は明らかでない。

したがって、本研究では使用者にとって高い座面高での椅子の座面高と奥行きの関係を明らかにすることを目的とした実験を行ったので報告する。

2. 方法

2.1 奥行きの計測方法

本研究では座面高を変更できる可変椅子を用いて、異なる座面高での座面の奥行きを計測した。座面高は5条件（300mm、400mm、500mm、600mm、700mm）とし、統制姿勢2種類と自由姿勢の3種類の着座において奥行きを計測した。統制姿勢の一方は、下腿部と上半身が垂直の状態ですできるだけ座

^{*1} 試験研究部

^{*2} 信州大学 繊維学部 感性工学課程

面の前縁に着座する姿勢とした（以下、統制（浅））。手は膝に置き、坐骨結節は座面に残るように指示をした。統制姿勢のもう一方は、下腿部と上半身が垂直の状態ですできるだけ座面の奥に着座する姿勢とした（以下、統制（深））。この際、踵が浮かない限界の深さで座るように指示をした。自由姿勢は脚の一部を地面に接地するように指示をし、それ以外の制約は設けずに着座させた。自由姿勢での着座は一つの高さで3回繰り返した。

統制姿勢における座面の奥行きは計測は座面に対して直角に設置した高さ200mmの計測板を被験者の腰に当てて行った。したがって、計測値は座面の前縁から上後腸骨棘までの水平距離を示す。自由姿勢における奥行きは計測点の高さを統一せず、水平方向の最後点までの距離を計測した。着座姿勢ごとの奥行きの計測位置を図2に示す。

2.2 身体計測

椅子の座面高と奥行きに対応する身体寸法として、座高計（ST-110ND、株式会社ヤガミ）を用いて上腿長と下腿長を計測した。また、被験者から身長を聞き取りした。

2.3 実験の手続き

実験は以下の手続きにより行った。まず、被験者に実験用ズボンを着用させ、身長の聞き取りと身体計測を行った。その後、着座方法について説明し、高さ300mmの条件から高さ700mmの条件まで順に座面の奥行きの計測を行った。ひとつの座面高での着座は統制（浅）、統制（深）、自由姿勢3回の順で行った。

2.4 被験者

被験者は大学生20名（男性10名、女性10名、 22.7 ± 1.0 歳）を対象とした。被験者の身長分布は図3のとおり（平均 $\pm$ 標準偏差= 167.4 ± 9.9 cm）であった。なお、全ての被験者から実験参加の同意を得ている。

2.5 データの解析手順

まず、座面高と姿勢の違いによって、奥行きがどのように変化するかの確認するために、条件ごとの奥行きの平均値を算出した。続いて、被験者の体型の違いを考慮するために、座面高と奥行きを身長によって基準化した。最後に被験者にとって高めの座面高における奥行きの設計値を求めるために身長によって基準化された座面高と奥行きの回帰分析を行った。

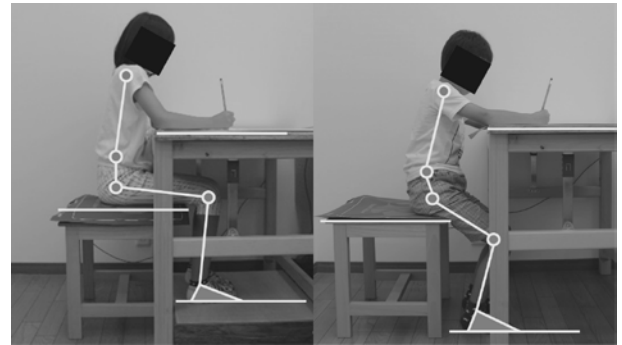


図1 子どもが成人用の机と椅子を使用した例（左：直立着座、右：立位に近い着座）

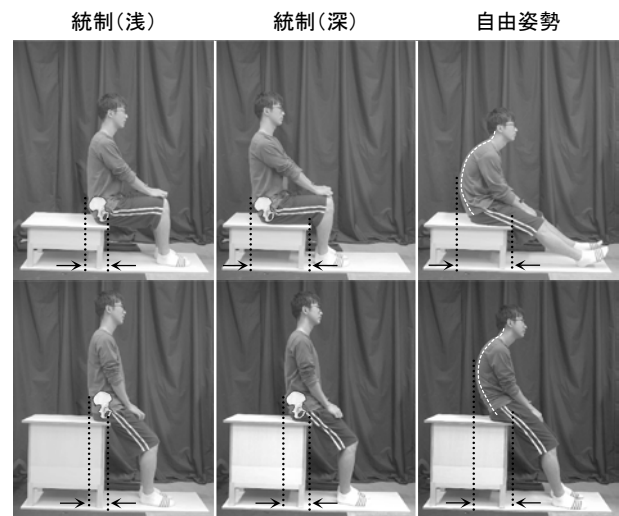


図2 着座姿勢と奥行きの計測位置

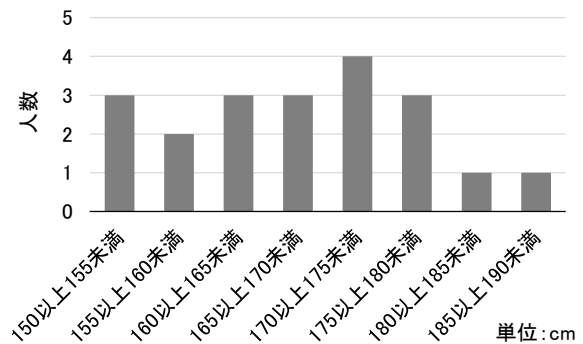


図3 被験者の身長分布

3. 結果と考察

3.1 座面高と着座姿勢による奥行きの変化

座面高と着座姿勢ごとの奥行きの平均値を図4に示す。また、被験者の上腿長と下腿長の平均値をグラフ上に示す。

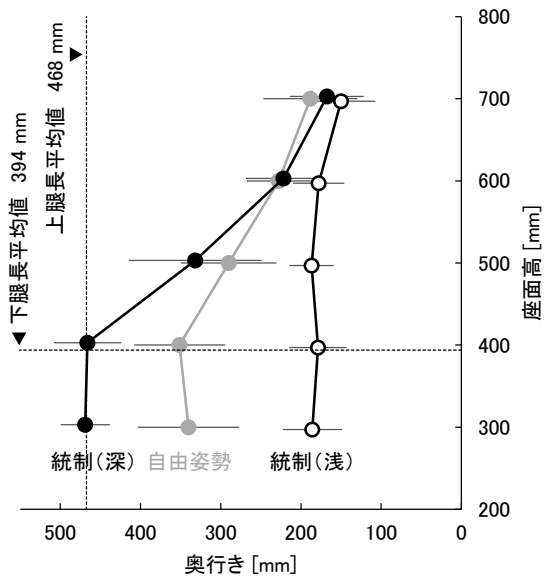


図4 着座姿勢ごとの奥行きの平均値
(統制姿勢：n=20、自由姿勢：n=60)

統制（深）の奥行きに着目すると、座面高300mmと400mmの奥行きは同程度であるが、座面高400mm以上では座面高が高くなるにつれ奥行きが小さくなっていることが分かる。被験者の下腿長の平均値は394mmであったことから、座面高が下腿長よりも高いか低いかにによって統制（深）の奥行きの変化の傾向は異なると考えられる。すなわち、座面高が下腿長よりも低いと、統制（深）奥行きは上腿長の平均値468mmと同程度となり、座面高が下腿長よりも高いと、座面高が高くなるにつれて奥行きが小さくなると考えられる。一方、統制（浅）の奥行きは座面高の違いによる変化が小さい。統制（浅）は坐骨結節が座面に残るできるだけ浅い位置での着座であったため、座面前縁から坐骨結節までの距離は座面高が変化してもほとんど変化しないと考えられる。また、座面高が高くなるにつれて、統制（浅）と統制（深）の奥行きの差は小さくなっており、座面高が高いほど統制（浅）と統制（深い）の姿勢の違いは小さくなることが分かった（図5）。自由姿勢の奥行きは、座面高300mmと座面高400mmでは同程度であるが、座面高400mm以上では座面高が高くなるにつれて奥行きが小さくなっていることが分かる。つまり、統制（深）と同様に座面高が下腿長の平均値よりも高いか低いかで、変化の傾向が異なると考えられる。

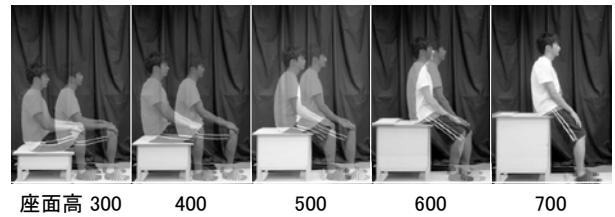


図5 統制（深）と統制（浅）の比較
(被験者01の例)

3.2 体型差を考慮した座面高と奥行きの関係

被験者の体型差を考慮するために、座面高と奥行きの数値を被験者の身長で除して基準化した。着座姿勢ごとの全被験者の座面高と奥行きの関係を図6に示す。

統制（浅）では座面高にかかわらず、奥行き（身長比）が0.1付近を中心に分布していることが分かった。また、統制（深）の奥行き（身長比）は座面高が下腿長よりも低い範囲では0.28付近に分布し、高い範囲では座面高に対して直線的に変化していることが明らかとなった。

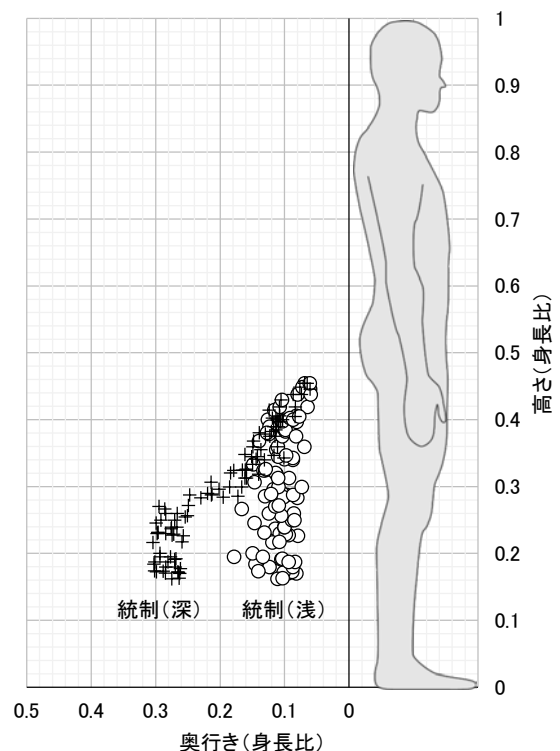


図6 身長で基準化した座面高と奥行きの関係

4. 座面高が高い椅子の座面奥行きの設計値

座面高が高い椅子の奥行きの設計値を決定するために、最小奥行きと最大奥行きを算出する。

図6における統制（浅）の結果が座面高にかかわ

らずほぼ一定の値を示したことから、最小奥行きには統制（浅）の奥行き（身長比）の平均値を用いた。また、最大奥行きは、統制（深）の計測値のうち座面高が下腿長よりも高い場合の計測値を対象に、奥行き（身長比）と座面高（身長比）の回帰分析によって求めた。その結果、奥行き（身長比）は座面高（身長比）を説明変数とする1次式で求めることができた（決定係数0.879）。算出された座面高が高い椅子の座面奥行きの設計値を図7に示す。

算出された奥行き設計値（最大奥行き）と昨年度の報告した差尺の上限値¹⁾を用いて、天板が10° 傾斜した机と座面高の高い椅子を子どもが使用した際のモデル図を描画した（図8）。子どもの身体寸法には6歳児と9歳児の平均体型を用いた²⁾。机は天板が10° 傾斜した高さ700mmのものを基準とし、椅子は座面高と奥行きが400mmのものを基準とした。この天板傾斜10° におけるモデルから、6歳児と9歳児の平均体型の座面高は成人用の椅子高さ（400mm）付近であり、成人用の椅子よりも奥行き浅くすることで地面に脚をつけた姿勢を保持できること分かる。したがって、天板傾斜10° の机において成長に伴う体型変化に対応するためには、座面高の調整でなく、奥行き調整のみで対応できる可能性が示唆された。

一方、本研究では姿勢の保持に着目しており、作業性や快適性の検討は行っていない。座面高が高く奥行きが浅い椅子での着座感の調査は今後の課題である。

5. まとめ

本報告では使用者にとって高い座面高での椅子の座面高と奥行きの関係を明らかにすることを目的とし、座面高ごとにできるだけ浅く座った際の奥行きとできるだけ深く座った際の奥行きを計測する実験を行った。その結果、浅い着座での奥行きは座面高にかかわらずほぼ一定であったが、深い着座での奥行きは座面高が高くなるほど狭くなることが明らかとなった。また、座面高と奥行きを身長で基準化した結果、座面高が下腿長よりも高い範囲での奥行きは座面高に対して直線的に変化することが明らかとなった。以上の結果より、座面高が高い椅子の座面奥行きの設計値を算出した。

謝辞

本報告内の実験は信州大学繊維学部吉田宏昭研究室との共同研究により実施しました。実験者および被験者としてご協力いただきました学生のみなさまに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 山口穂高他、子どもに適した家庭用家具（学習机・椅子）の設計指針に関する研究（第2報）、岐阜県生活技術研究所研究報告、No.19、pp 41-43、2017
- 2) （独）産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター 他、子どものからだ図鑑、ワークスコーポレーション、2013

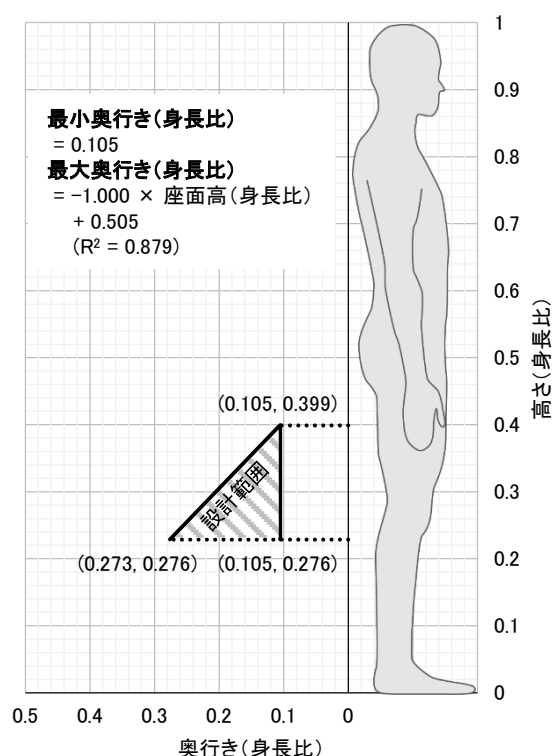


図7 座面高が下腿長より高い椅子の奥行き設計値
(網掛け部が奥行きの設計範囲)

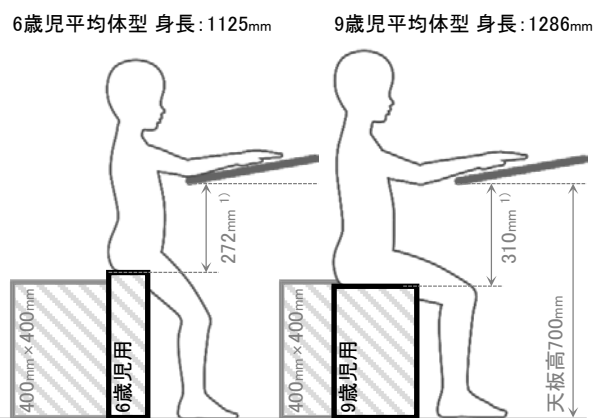


図8 天板傾斜10° の机と座面高の高い椅子を子どもが使用した際のモデル図

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

三井勝也*, 伊藤国億*

Improvement of Durability of Wood using Japanese Traditional Materials (1)
Relationship between the mixture ratio of “Kakishibu” persimmon extracts and “Bengala” iron oxide
and the contact angle.

Katsuya MITSUI*, Kuniyasu ITO*

本研究では柿渋とベンガラを混合し木材表面に塗着させ、耐候試験前後の接触角について検討した。柿渋－ベンガラ混合溶液を木材に塗着した場合、無処理材に比べて液滴後の接触角の低下が小さかった。つまり、柿渋－ベンガラ混合溶液を用いることにより耐水性向上を図ることができる。しかし、繰り返し耐候処理を行うと、その効果は見られなくなった。これは、表層のみの処理のため、柿渋を含む塗膜が光で劣化し、降雨処理で洗い流されたことによるものと考えられる。これらのことから、耐候性を向上させるには、混合溶液を材内に含浸する必要がある。

1. 緒言

2020 東京オリンピック開催を契機に木材の良さが再認識され、木材の屋外利用が盛んになっている。木材を屋外で利用するには、耐候性や耐腐朽性を向上させる必要があり、その方法として、強固な塗装や化学修飾などがある。日本では古来から塗料としてベンガラや松煙炭、柿渋が利用されている。現在ベンガラは工業的に製造されているが、古来は天然に産するものを利用していた。松煙炭や柿渋は、現在でも天然のものから製造されている。これらが古来から利用されてきたのは、いずれも無毒でありながら、耐水性や耐光性が高いことにある。また、近年、伝統的材料の見直しが各分野でもなされ、ベンガラについても新規な赤色酸化鉄への研究展開などが行われている¹⁾。

これまでは、ベンガラや柿渋は塗料としての利用が主であり、木材表面に塗布することにより、木材そのものの耐久性を向上させている。しかし、塗装表面に傷がつくと、木部が表面に現れ、そこから耐水性、耐光性を失い、劣化が進行することが懸念される。

本研究ではベンガラや松煙炭、柿渋を表層処理のみではなく、木材中に含浸させることにより、より耐久性を持った処理材を開発することを目的とし、今年度は柿渋－ベンガラ混合溶液の塗料としての性能確認を行った。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本研究にはスギ(*Cryptomeria japonica*)心材板目材)を用いた。試験体寸法は25mm(L)× 25mm(T)× 5 mm(R)であり、試験体の全乾密度は、 $0.29 \pm 0.01\text{g/cm}^3$ であった。

2.2 溶液調製

柿渋には粉末柿渋（三桝嘉七商店, 京都府木津川町）を用いた。この粉末柿渋は、1Lの水に30gを溶解することで市販の柿渋溶液と同等の濃度になるものである。ベンガラには酸化鉄(III)（化学用, 純正化学株式会社）を用いた。

水200gに対し、柿渋－ベンガラ混合粉末6gを溶解した。柿渋－ベンガラ粉末の混合比は10:0～0:10とした。

2.3 塗着

混合粉末を溶解した溶液を十分に攪拌した後、試験片を溶液に浸漬し減圧し、2時間静置した。その後、 P_2O_5 上で減圧乾燥した後、 20°C 50%RHの恒温恒湿室で調湿した。

2.4 材色測定

材色測定には色差計(SE-2000: 日本電色工業(株)製)を用い、CIELAB表色系を適用した(図1)。

* 試験研究部

D₆₅光源とし、測色直径は10mmとした。気乾時の材色は(L*, a*, b*)=(63.68 ± 2.02, 11.90 ± 0.69, 22.94 ± 3.05) (平均値 ± 標準偏差)であった。

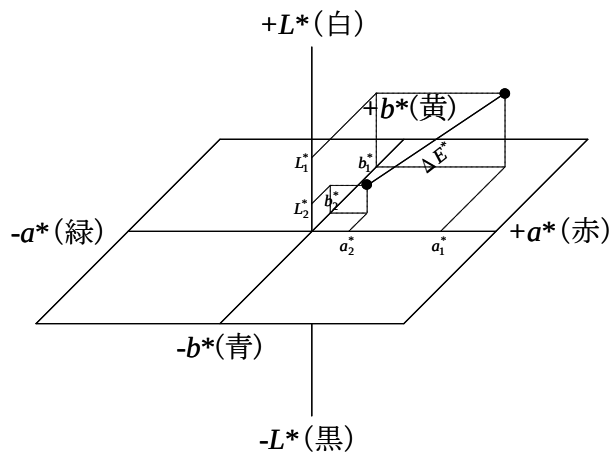


図1 Lab表色系

2.5 接触角測定

接触角測定は、接触角計(DMs-200:共和界面科学(株))を用い、 $\theta/2$ 法で測定した。蒸留水を2 μ L滴下し、接触角は液滴直後から1分毎に10分間測定した。

2.6 耐候試験

102分光照射後、18分間光照射と水噴射を行うことを1サイクルとし、これを最長100サイクル行った。放射照度は300~400nmにおいて60W/m²とし、照射時のブラックパネル温度は63℃とした²⁾。

3. 結果と考察

3.1 接触角の経時変化

図2に柿渋ーベンガラ混合液(5:5)を塗布した場合と、無処理材における接触角の経時変化を示す。無処理の試験片に比べ、混合溶液を塗布した試験片の接触角の低下は小さかった。これは柿渋ーベンガラ混合液が耐水性を持っていることを示している³⁾。

図3に柿渋ーベンガラ混合比と接触角の関係を示す。液滴直後は混合溶液を塗着した試験片、無処理試験片ともに、接触角は110~120°程度であったが、10分後には無処理は60°程度まで低下した一方、柿渋ーベンガラ混合液を塗着した試験片は、ばらつきはあるものの、無処理材ほど低下は見られなかった。柿渋：ベンガラ=0:10の場合の10分後は、接触角が他に比べ小さくなったが、これは、ベンガラのみでは、木材表層に均一に塗着できていなかったことに起因すると思われる。

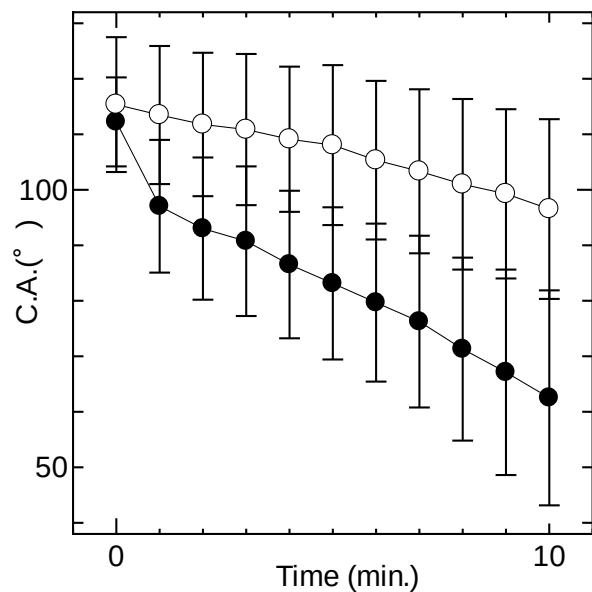


図2 接触角の経時変化

○：柿渋：ベンガラ=5:5 ●：無処理

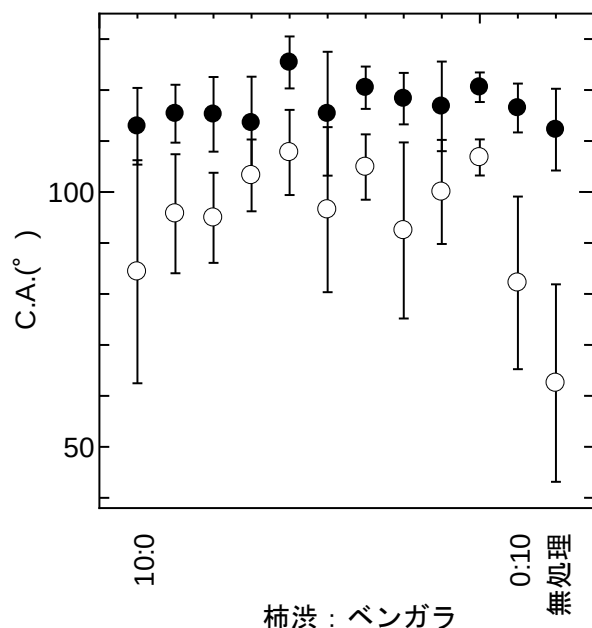


図3 柿渋ーベンガラ混合比と接触角の関係

●：液滴直後 ○：液滴10分後

3.2 耐候試験後の接触角の変化

図4に柿渋ーベンガラ混合液(5:5)と無処理材の耐候試験による接触角(液滴10分後)の変化を示す。10サイクル目までは柿渋ーベンガラ混合液を塗着した方が接触角は大きかったが、50サイクル目を超えると、ほぼ同程度になり、100サイクル目では、液滴10分後には、どちらも接触角が0°となった。

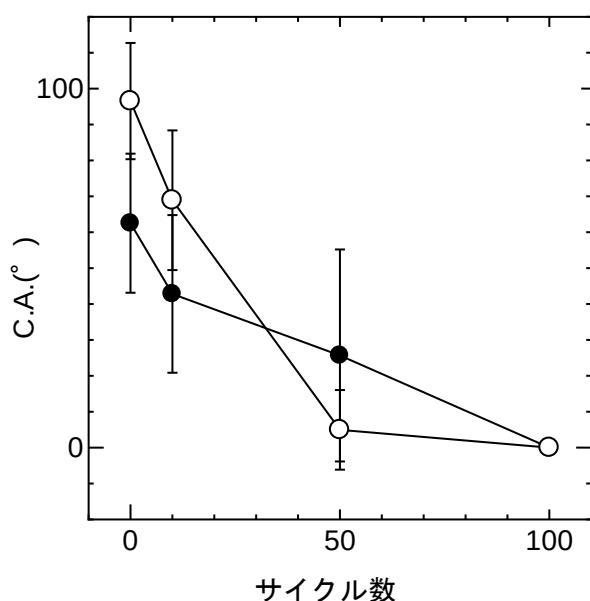


図4 液滴10分後の接触角に及ぼす耐候試験のサイクル数の影響

○：柿渋：ベンガラ=5:5 ●：無処理

すなわち、耐水効果は得られないことを意味する。

図5に繰り返し耐候試験による ΔL^* と Δa^* の変化を示す。柿渋ベンガラ混合溶液も無処理も同じ傾向を示した。繰り返し回数が少ない時は、 ΔL^* が低下し、 Δa^* はほとんど変化が見られなかった。

繰り返し回数が増加すると、 Δa^* の低下と ΔL^* の上昇が見られた。

すなわち、繰り返し耐候試験初期では光照射によって暗色化のみ引き起こされ、降雨による分解物の流出は始まらないものと推測される。つづいて、繰り返し回数を継続させると、光照射によって生成する分解物が降雨処理によって洗い流され、白化現象が引き起こされると考えられた。

一般的な木材において、繰り返し耐候処理を行うと、表面が白化する。これは、紫外線により木材中のリグニンが分解し、その後の降雨処理により分解物が洗い流される一方、セルロースの分解には、より短波長の紫外線照射が必要であるため、木材表層にセルロースのみが残存するからであると考えられている⁴⁾。

これらのことから、繰り返し耐候試験の回数が増加することにより、木材表層は徐々に親水性となるため、接触角は小さくなると考えられた。

4. まとめ

本研究では柿渋とベンガラを混合し木材表面に塗着させ、耐候試験前後の接触角について検討し

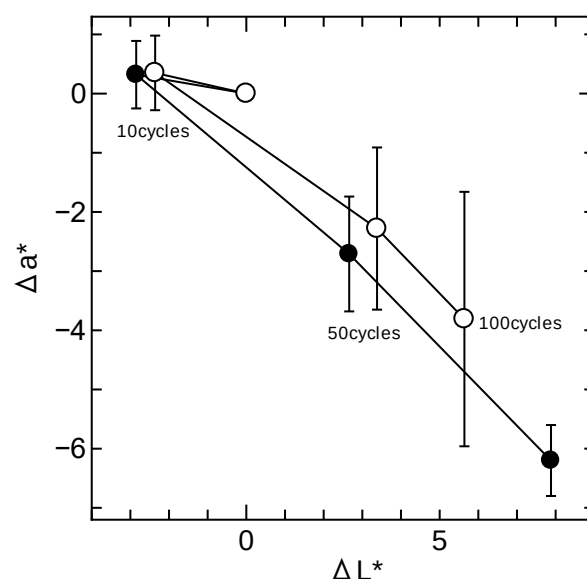


図5 繰り返し耐候試験による ΔL^* と Δa^* の変化

○：柿渋：ベンガラ=5:5 ●：無処理

た。耐候試験前においては、柿渋－ベンガラ混合溶液塗着材は、無処理材に比べて液滴後の接触角の低下が小さかった。つまり、柿渋－ベンガラ混合溶液を用いることにより木材の耐水性向上を図ることができる。しかし、繰り返し耐候処理を行うと、その効果は見られなくなった。これは、表層のみの処理のため、柿渋を含む塗膜が光で劣化し、降雨処理で洗い流されたことによるものと考えられる。これらのことから、耐候性を向上させるには、混合溶液を材内に含浸する必要がある。

参考文献

- 1) 高田潤、中西真：伝統の”ベンガラ”から新規な赤色酸化鉄への研究展開－備中吹屋ベンガラの復元から微生物由来酸化鉄ベンガラへの飛躍－。材料 66(11), 799-803, 2017.
- 2) JIS K 7350-2 プラスチック－実験室光源による暴露試験方法－第 2 部：キセノンアークランプ
- 3) Carlos Vaca-Garcia, Negar Azarmanesh, Julien Riess, Valentine Austry Dubard, Oriol Munné: Characteristics of Wood impregnated with Persimmon (*Diospyros* sp.) Extracts. Proceedings of the Fifth European Conference on Wood Modification, 313-320, 2010.
- 4) David N.-S. Hon, Nobuo Shiraishi Eds: Wood and Cellulosic Chemistry, second edition, revised and expanded. 2001, marcel Dekker Inc.

レーザ加工機を用いた立体形状切削の研究（第1報） レーザによる木材の加工深さと焦げ色の関係性の検討

森茂智彦*, 山口穂高*, 沼澤洋子*

Research of Relief Sculpture Using a Laser Processing Machine (1) Relationship between Depth and Burnt Color by Laser Processing of Wood

Tomohiko MORIMO*, Hodaka YAMAGUCHI*, Yoko NUMAZAWA*

木材加工用CO2レーザ加工機を用いて立体形状の切削を行うことを目的として、レーザの出力・速度パラメータを可変して彫刻加工を行い、加工面の加工深さと焦げ色を測定した。同じ深さでも焦げ色が異なるパラメータの範囲があるため、測定結果を参照することでその範囲の中から好みに応じて焦げ色を選択し加工できることが分かった。

1. 緒言

レーザ加工機が普及してきており木材加工においても様々なところで使われるようになってきた。

木材用のレーザ加工は大きく分けて2種類の用途があり、材料を分断する切断加工とイラストや文字などを転写する彫刻加工がある。

どちらの加工もレーザを照射すると、レーザが木材の中を直線的に進み、レーザが触れた部分を燃焼させるため、深さ方向に削れていき照射面は黒く焦げる。この加工深さはレーザ加工機の機械側パラメータである出力や照射軸の移動速度によって変化することが知られており¹⁾、彫刻加工を行いながらパラメータを可変することで、加工深さが段階的に変わり、浮き彫りのような立体的な面を加工することが可能となる^{2,3)}。

所望の加工深さになるパラメータを知るには、機械側パラメータを可変した加工パターンを作り、そのパターンから求める深さに対応するパラメータを読み取ることで達成できる。しかし、レーザを木材に照射すると照射面は焦げるため、同じ加工深さでも焦げ色によって加工物の仕上がりは異なってしまう。焦げ色は加工物の外観に影響を与える構成要素の一つであるが、焦げ色と機械側パラメータや加工深さに対する関係性はまとめられていない。そこで本報では、機械側パラメータを可変した加工パターンを基に、パターンの加工深さと焦げ色を測定して関係性を調べたので結果を報告する。

2. 加工条件

2.1 装置

表1に使用するレーザ加工機の仕様を示す。仕様上、出力設定は60%が最大出力に相当する。

表1 レーザ加工機の仕様

型式	AD-VD-60100
メーカー	株式会社コマックス
最大出力	150W
最大有効ピークパワー	375W
最大速度	1,524mm/s
出力設定範囲	0～60%
速度設定範囲	0～100%

2.2 加工パターン

図1に示す出力と速度を組み合わせた加工パターンを作成し、加工を行う。組み合わせ毎にφ20mmの円形の彫刻を行う。材料は木目方向とレーザ走査方向が図1の左右方向となるように配置する。加工する樹種はレッドオーク(柾目)とする。

樹種名	速度									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
出力	10	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	20	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	30	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	40	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	50	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	60	●	●	●	●	●	●	●	●	●

図1 加工パターン

* 試験研究部

3. 加工深さと焦げ色の測定条件

3.1 加工深さ

加工深さは3Dスキャナにて測定する。3Dスキャナでは先端が針状の接触式センサを用いて、図2に示すように各彫刻面の木目方向の中央位置を、垂直方向に走査しながら深さを測定する。その他の条件を表2に示す。

測定後、下記の方法で加工深さを算出する(図3)。

1. 加工面の測定値の平均値を算出する。
2. 未加工面の測定値の平均値を算出する。
3. 加工面と隣り合う未加工面の値の平均値を算出する。
4. 1. と 3. で求めた値の差分を求める。

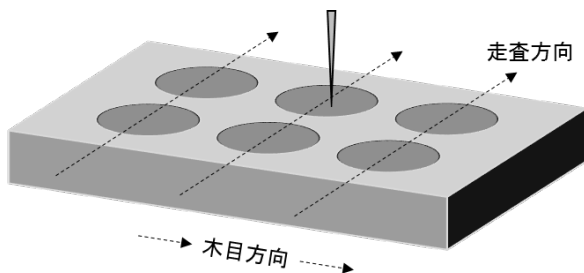


図2 加工深さの測定イメージ

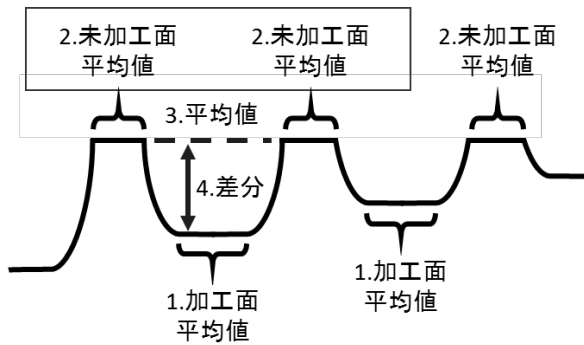


図3 加工深さの算出

表2 3Dスキャナの仕様と測定条件

型式	MODEL A MDX-40A
接触式センサ	ZSC-1
メーカー	Roland
センサ先端球形半径	0.08mm
機械的分解能	0.002mm/step (マイクロステップ)
スキャン方式	接触型メッシュポイント高さ検出方式
測定間隔	0.24mm

3.2 焦げ色

焦げ色はハンディ型焦げ色彩計NR-3000(日本電色工業株式会社製)にて測定を行う。測定条件はD65標準光源、測定範囲φ10とし、各加工面の明度L*を測定する。

明度は色の白黒度合いを表す数値であり、低いほど黒い色、高いほど白い色を示す。つまり、焦げているほど明度は低くなる。

4. 実験結果及び考察

4.1 加工結果

図4に加工パターンを加工した結果を示す。

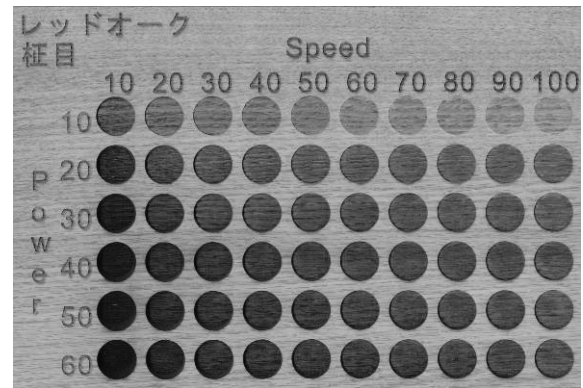


図4 加工パターンを加工した結果

4.2 加工深さと焦げ色の測定結果

各加工面の加工深さと焦げ色の測定を行った結果を図5、図6に示す。出力・速度を加工パターンと同じ軸にとり、測定値を等高線グラフで表した。出力が高く速度が遅いほど、加工深さが深く焦げ色の明度が低い傾向が見られた。

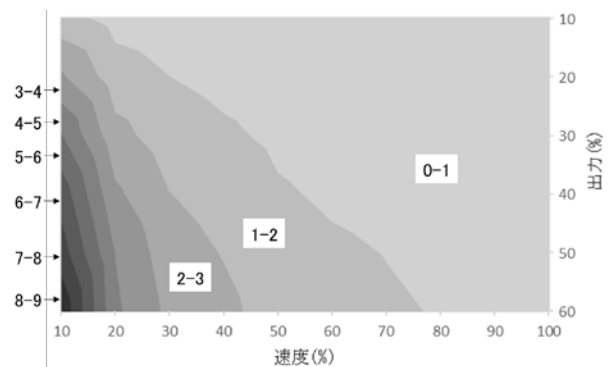


図5 加工深さの測定結果(mm)

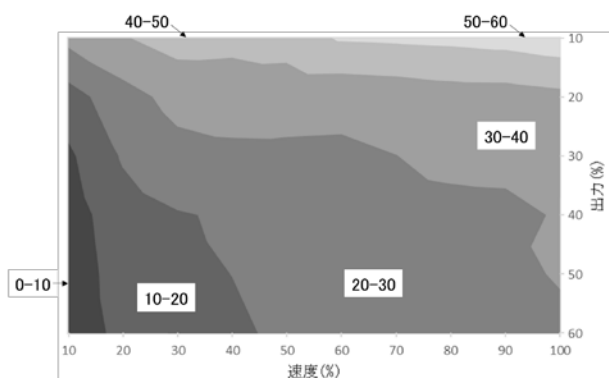


図6 焦げ色(明度L*)の測定結果

4.3 加工深さと焦げ色の関係

横軸に焦げ色、縦軸に深さとしてプロットし、同一速度の点を結んだ結果を図7に示す。

グラフより、明度が約20以上の白色側の範囲では、深さの変化量に比べ、焦げ色の変化量が大きい。例えば深さ1mmの時、明度はおよそ23~33の幅があることが分かる。

明度が約20以下の黒色側の範囲では、焦げ色の变化量に比べ深さの変化量が大きく、より深く加工することができる。

4.4 加工パラメータの選択方法

図8は横軸に出力、縦軸に深さとしてプロットし、同一速度の点を結んだ結果であり、図7と図8を用いることで、所望の深さと焦げ色に加工するためのパラメータを選択することができる。

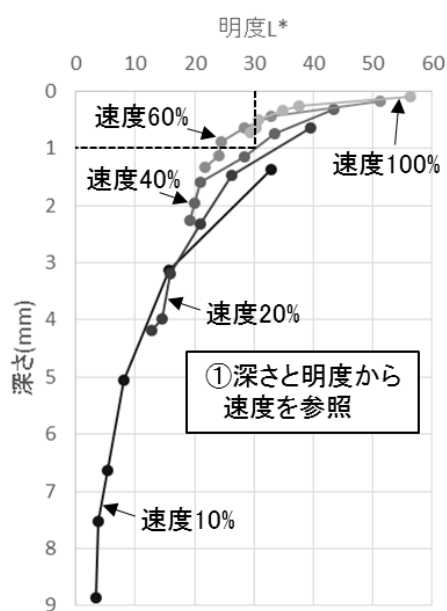


図7 加工深さと焦げ色の関係
(速度30%, 50%, 70%, 80%, 90%は省略)

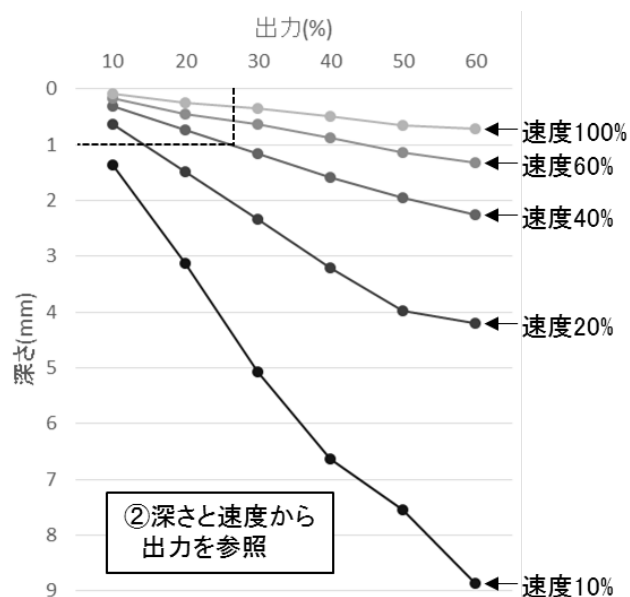


図8 加工深さと出力の関係
(速度30%, 50%, 70%, 80%, 90%は省略)

例えば、深さ1mm、明度30で加工したい場合、図7から速度は40%であることが読み取れる。さらに図8から深さ1mm、速度40%を満たす出力は26%であるため、パラメータは出力26%、速度40%とすれば良いことが分かる。

5. まとめ

出力、速度パラメータを可変した加工パターンを加工し、加工深さと焦げ色を測定することで、それぞれの関係性について基礎的な検討を行った。

結果、同じ深さでも焦げ色が異なる範囲があるため、その範囲内であれば焦げ色を変えて加工できることが分かった。加工深さが浅い範囲では、焦げ色を選択できる幅が大きく、深くなるほど焦げ色の变化に比べ加工深さの変化の方が大きくなる傾向が見られた。測定結果のグラフを参照することで、所望の加工深さと焦げ色に加工するためのパラメータを選択することができる。

今後は他の樹種でも同様の加工及び測定を行い、樹種毎の違いを調査する。また、測定結果を元に、焦げ色も考慮した立体加工を行う。

参考文献

- 1) 新井武二ら、レーザーによる木材の加工特性について(第1報)機械側パラメータが加工特性に及ぼす影響、木材学会誌、Vol. 38、No. 4、pp. 350-356、1992
- 2) トロテックレーザー加工機カタログ
- 3) ユニバーサルレーザーシステムズレーザー加工機カタログ