

# 高齢者の身長に配慮した椅子のデザイン 着座起立動作と差尺の検討

宮川成門\*, 藤巻吾朗\*, 森茂智彦\*

## Design of a Chair Considered the Height of an Aged Person Study on Sitting-Standing Motion and Height -Difference of Desk and Chair

Naruto MIYAGAWA\*, Goroh FUJIMAKI\*, Tomohiko MORIMO\*

高齢者が椅子を使用する際の着座起立動作と差尺の調査を経て、小柄な身長を考慮したハイチェアのデザイン検討を行った。一般に立ち上がりやすさを優先し、座面が高い椅子や長い肘掛けの椅子を用いる例があるが、高い座面は、着座時に中腰となる大腿部が座面を後方へ押すため、また、長い肘掛けは、着座前に椅子前方へ入る際に大腿部が引っかかるため、共にアプローチ等の安全面に課題があった。起立初期の上肢の筋負担については、肘掛けより座面に手をつく方が肘関節と重心位置が近づき、小さな力で臀部を持ち上げることができた。テーブルを共用する際の差尺調整は、テーブルを基準高さとして座面高を上げることが、簡易かつ有効と考えられた。これらを考慮し、座面は中腰の大腿部から臀部を支える座折れ形状、肘掛けは短くして、着座起立しやすさと同時に適正差尺を提供する設計案とした。

### 1. 緒言

標準的な椅子やテーブルのサイズが身体のサイズに対して大きく、不便となっている高齢者は多い。サイズの合わない椅子は、床からの足浮きなどにより快適な座位が得られず、体力が衰えている場合は事故につながる心配があるため軽視できない。そうした中でも立ち上がりやすさへの配慮から、高い座面の椅子を利用したいというニーズがあるが、現状は不安定ながらもサイズが大きな椅子を用いるしかない。また、小柄な身長に合わせたテーブルと椅子の差尺調整も重要な課題だが、複数名がテーブルを使う環境では個人に合わせた調整が困難なため、やはり高い座面の椅子に座ってもらった上で、足台を用いて足浮きを調整している場合が多い。

当所では過去に、安全な起立補助のため、座面を大腿部と坐骨部の前後に分けて座折れ昇降させる、電動起立補助椅子<sup>1)</sup>を開発・商品化している。また、サイズや差尺考慮のため、椅子の設計値提案<sup>2)</sup>や、施設現場での簡易な補助具による改善検討<sup>3)</sup>をしている。その後も高齢者福祉施設の調査を続ける中で、今回、高齢者の身長に配慮した家庭用木製椅子を提案したいと考え、着座起立動作や差尺問題について検討したので報告する。

### 2. 調査

#### 2.1 立ち上がりやすい椅子の概要

基本的事項として、力学的観点からの立ち上がりやすき動作と、一般的に言われている立ち上がりやすい椅子について以下に示す。安定した座位のためには適正サイズの椅子が好ましいが、これに反して高い座面の椅子が有効となる。

#### 【立ち上がり動作について】

- ①前に屈む：股関節屈曲による体幹前屈と足底面までの前方重心移動
- ②立ち上がる：股関節と膝関節の伸展による臀部離床と体幹の上方重心移動

#### 【立ち上がりやすさに配慮した椅子について】

- 足が座面下に入ること：足底面が身体の重心に近付くため、①の体幹前屈が小さくなる。このことは②の際に重心が股関節と膝関節の両方と近い位置となり、腰と膝の負担が小さくなる。
- 座面が高いこと：立位に近い姿勢となり足底面は自然と身体の重心に近付き、①の体幹前屈が小さくなる。②の際は重心の上方移動も少なくなるため、さらに腰と膝の負担が小さくなる。
- 肘掛けがあること：立ち上がりには腕の力を併用することで、腰と膝の力が小さくなる。

\* 試験研究部

## 2.2 着座起立動作の調査

高齢者福祉施設を訪問し、椅子へのアプローチから着座起立動作までを調査した。体力が衰えた場合の例として、脳卒中後遺症による片麻痺の方々を対象とした。以下に気づいた点を示す。

図 1 (ア～ウ) は小柄な身長に対してサイズの大きな椅子に座る状況を示す。(ア) 高い座面に座る際、腰を下ろし始めることで屈曲する大腿部の裏面が、座面の前縁に最初に接することになる。そのまま腰を下ろし続けると大腿部裏面が椅子を後方にずらすため、着座への不安感が見られた。

(イ) その後、着座すると臀部は座面の手前部分にしか乗らず、かかとが浮き背もたれと背は離れた不安定な状態となった。(ウ) この状態から背もたれにもたれると、上半身が大きく後傾した座位姿勢となった。

ユーザーに対してサイズの大きな椅子を選ぶことは、アプローチ動作や姿勢の面で課題があった。座面の高い椅子に座るにはやや大腿部が傾斜した中腰姿勢となるが、この際の大腿部から臀部の形状と平板な座面形状が合っていないため、改善できる座面形状を検討する必要がある。

同じく (エ～カ) は肘掛けの有無と着座起立に関する状況を示す。(エ) 着座前、テーブルと椅子の隙間から椅子の前方に入ろうとする際、肘掛けが大腿部に引っかかり動作を妨げた。これは肘掛けが前方に長いほど動作を困難にするといえる。

(オ) 肘掛けが無い椅子の場合、椅子の横方向から腰を下ろし、着座後にテーブル方向へ身体を向けることができた。(カ) 立ち上がり時において、肘掛けは使わず座面に手をついた方が力を入れやすいという事例があった。また全般的に、テーブルがある場合はテーブルに手をつけて着座起立動作時の姿勢補助を行うことが多かった。

肘掛けがあることは利点のみでなく、アプローチ動作の面で課題があった。一律に肘掛けを設けるのではなく、ユーザーの立ち上がり動作やテーブルの有無といった使用環境を考慮し、デザインを検討する必要がある。

## 2.3 手をつく高さを変えた立ち上がりの調査

座面に手をついた立ち上がりを好む事例があったことから、手をつく高さを変えた立ち上がり姿勢と上肢の筋負担について調査を行った。

図 2 に手すりの高さを変えた際の、臀部離床直前から大腿部傾斜 $30^{\circ}$  までの立ち上がり初期の姿勢を示す。この際、下肢の力が弱いことを想定し、ゆっくりとした前傾による足底面への重心移動の後、上肢の力のみを意識して立ち上がった。大き

く異なるのは肘の屈曲角度であり、高さ 20cm の場合、肘関節は屈曲が大きく、身体の重心から離れるため、臀部離床のための肘伸展の筋負担は大きくなると考えられた。一方、高さ 0cm 場合、肘関節は屈曲が小さく、身体の重心位置に近い場合、肘伸展の筋負担は小さくなると考えられた。この際、前傾とともに肘関節を伸展位方向へロックさせる方法をとれば、上肢の筋が衰えていても肘折れすることなく上体が支えられるので、臀部を持ち上げる負担が減らせると考えられる。

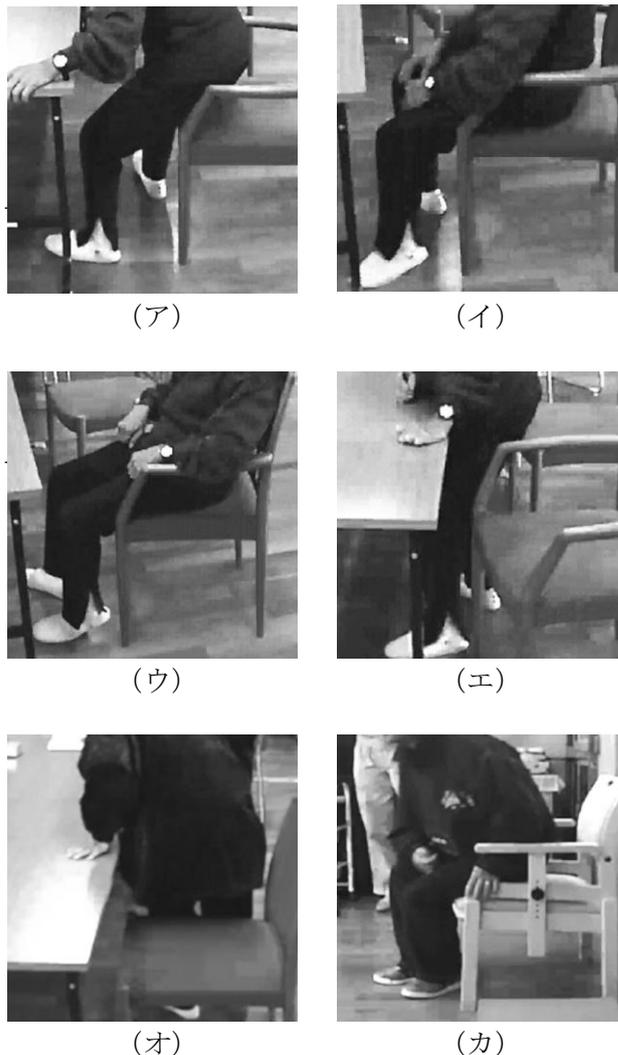


図 1 着座起立動作

この動作間の筋電位測定による比較を表 1 に示す。測定部位は肘伸展に必要な上腕三頭筋とし、下肢の力を使用していないことを大腿直筋の波形で確認した。測定は男性 2 名、1 人 2 回の起立動作を行い積分値の平均を出し比較した。この結果

手すり高さ 20cm に対し 0cm の時は、上肢の筋活動が約 60%と姿勢からの考察と同様であり、座面に手をついた立ち上がりを好む理由が伺えた。しかしこの場合、立ち上がり後半の動作において座面から手が離れ、動作全体において下肢の負担を補い続けられないため、テーブルを身体の支えに利用するなどの配慮が必要となる。立ち上がりのためには肘掛けというパーツにこだわるのではなく、手をつく位置や手段を検討することが大切と考えられた。

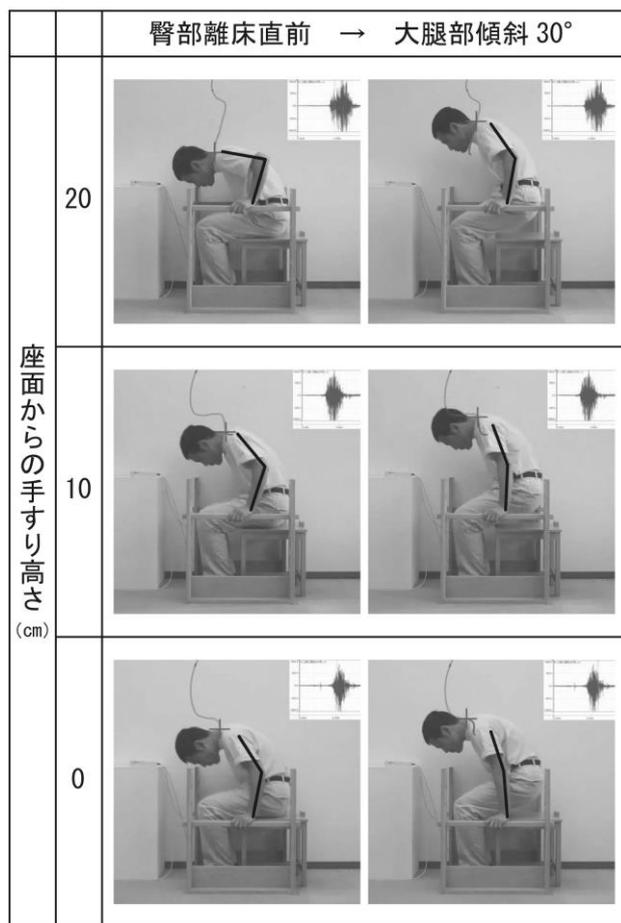


図2 手すりの高さと立ち上がり姿勢

表1 手すり高さと上腕三頭筋の活動量

座面からの手すり高さ (cm)		20	10	0
上腕三頭筋活動量	被験者 a	100	85.5	63.0
	被験者 b	100	74.2	59.8

(注) 手すり高さ 20cm を 100 とした相対値

## 2.4 差尺の問題

一般的に座位の安定のためには、足浮きを改善するため、足が床につくように座面高さを合わせる。この場合小柄な人ほど座面高が低い椅子に座ることになるため、その後テーブルも低くし差尺を合わせる必要がある。しかし家族等で共用するテーブルの高さを個人ごとに合わせることは困難であり、図3のようにテーブルが高くなりすぎるという問題が生じる。使用環境を考慮すると、テーブルを基準高さとして、安全に配慮した座面の高い椅子を提供するという方法が、差尺の問題の改善には簡易かつ有効な方法と考えられた。

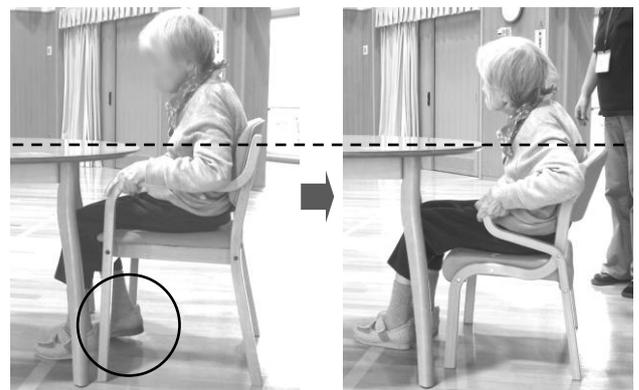


図3 足浮き改善後テーブルが高くなる例

## 3. デザイン・試作検討

以上の調査を経て、着座起立のしやすさと差尺調整に有効となるような、やや高い座面高のハイチェアをデザイン検討することとした。以下に設計主旨を示す。

- 対象者身長は高齢者を含む女性の平均値を想定し 150~160cm 程度を目安と考える。
- 椅子の使用環境はテーブルとの併用と考える。
- 座面高が高くても足を床につけて座れるように、やや中腰姿勢での姿勢安定を確保する。そのために前傾した大腿部の支持面とフラットな坐骨支持面による座折れ形状の座面を考える。
- 肘掛けについては椅子への接近時の動作を妨げないように短くする。また座面等に手をついた起立ができるように形状を考える。
- 坐骨の支持面の高さは、標準的な高さ 70cm 程度のテーブルとの差尺を考慮して設計する。

具体的な設計については、人体寸法データベース<sup>4)</sup>から高齢層の座位におけるサイズ(座高、座位肘頭高、座位臀・膝窩距離、座位膝窩高、座位

臀・転子距離)を参考として図4の作図により行った。標準的な高さ70cmのテーブル面に対して適切な高さ上半身が位置するように配置し、坐骨支持面の高さの目安を出した。その状態から足が床につく中腰姿勢となるように大腿部を下ろすことで、大腿部支持面の傾斜角の目安を出した。

図5に試作状況を示す。1回目試作で座折れ形状座面の着座感確認、2回目試作で背座面のサイズや傾斜角の微調整、3回目試作で製品に近い形にし、着座感、取扱、造形的印象の確認を行った。今後も試作評価を繰り返し改良していく。

#### 4. まとめ

高齢者が椅子を使用する際の着座起立動作、差尺の調査を経て、身長を考慮したハイチェアのデザイン検討を行った。

- 立ち上がりやすさのため座面が高めの椅子を用いる例があるが、この場合、着座時に大腿部裏面が椅子を後方へずらし着座の不安感と後傾座りの原因となった。
- 同じく立ち上がり補助のために長い肘掛けの椅子を用いる例があるが、テーブル併用時、着座前に椅子の前方に入る際、肘掛けが大腿部に引っかかり動作を妨げた。
- 椅子に手をつく高さで立ち上がりやすさについては、起立初期では肘掛けより座面に手をつく方が肘関節の屈曲が小さく身体の重心位置に近づき、上肢の筋負担を小さく臀部を持ち上げることができた。
- 複数人でテーブルを共用する際の小柄な人の差尺調整は、テーブルを基準高さとして座面高を上げることが簡易かつ有効と考えられた。
- 以上を考慮し、座面はやや中腰の大腿部から臀部を支える座折れ形状とし、肘掛けは短くすることで、起立着座のしやすさと同時に適正差尺を提供する設計案とした。

なお試作については株式会社ガレイヴの協力により実施した。今後継続して評価・改良を行う。

#### 参考文献

- 1) 堀部哲他：姿勢援助機能付木製椅子の開発研究(第2報)，平成6年度岐阜県工芸試験場研究報告，No. 5，pp26-30，1995.
- 2) 安藤敏弘他：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3報)表面筋電図と主観評価に基づく差尺許容範囲の

検討，平成16年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 7，pp9-15，2005.

3) 宮川成門他：高齢者に配慮した生活用具の開発(第2報)，平成20年度岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 11，pp. 28-32，2009.

4) 社団法人人間生活工学研究センター発行：日本人の人体寸法データブック 2004-2006.

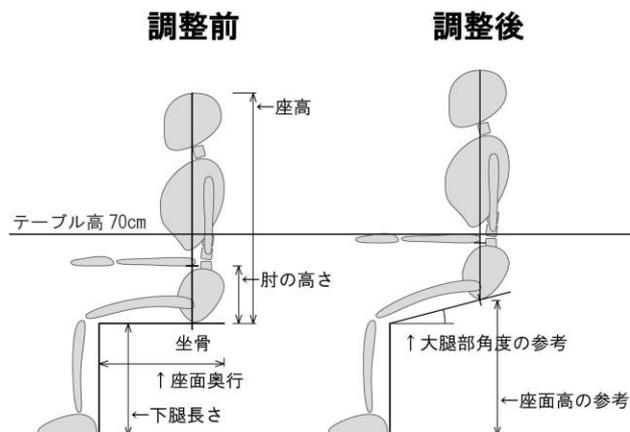


図4 作図



1回目試作検討



2回目試作検討



3回目試作検討

図5 試作

# 香りでやすらぐ木工製品の開発 木材乾燥における排出蒸気中の精油成分について

伊藤国億\*, 三井勝也\*, 石原智佳\*

## Development of wood products comforting aroma Essential oil components in the exhaust steam during wood drying

Kuniyasu ITO\*, Katsuya MITSUI\*, Chika ISHIHARA\*

ヒノキ材乾燥過程で排出される蒸気から精油を回収し、乾燥温度60℃及び90℃における精油回収量やその成分組成を分析した。絶乾重量あたりの精油回収量は60℃乾燥では0.05%と僅かであったが、90℃乾燥では0.31%と多く、その回収量は含有量の15%程度であった。また、乾燥が進むほど乾燥過程における精油回収量は低下し、90℃乾燥ではその傾向が顕著であった。精油組成は90℃乾燥では主にモノテルペン類であったが、60℃乾燥ではモノテルペン類よりもセスキテルペン類が多かった。芳香蒸留水中の精油は主にテルペンアルコール類であり、上層部の精油組成とは大きく異なり、かつ乾燥温度等による組成変化は小さかった。

### 1. 緒言

近年、植物の香りを通してヒトの心や身体トラブルを穏やかに回復し、健康増進や美容に役立てていこうとする自然療法としてアロマセラピーが注目されている。アロマに使用される精油は花や果実の皮、草、種子などの植物から抽出され、ユーカリやローズウッドなどの樹木系精油も多くみられる。こうした精油は水蒸気蒸留により抽出製造されているが、原料収集や低収率、抽出残渣処分など製造コストは高い。今日では高コストではあるが未利用資源の葉、小枝部やおが粉などの木部から抽出した国産精油(モミ、スギ、ヒノキ、ヒバなど)が市販され、なかでもヒノキ精油が韓国をはじめ海外(韓国)で人気を集めている。

一方、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して多量に生じている。こうした排出蒸気には木材由来の精油等が含まれているが、排出蒸気を凝縮した回収液の利用はほとんど実用化されていない。そこで未利用資源かつ副生産物である排出蒸気から精油を効率的に回収する方法を開発する。

まず、木材乾燥は用途や地域環境によって乾燥

温度や処理時間など乾燥条件が異なるため、回収液の精油成分は一様でないとい推察される。そこで、乾燥条件による精油の組成を分析した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材

木材乾燥に用いるヒノキ (*Chamaecyparis obtuse*; 含水率31~44%)は飛騨産心持ち材(120×120×4000mm)とした。図1に示すようにカットし、板材(28×120×400mm)を32本木取りした。これら板材は心材部が同程度含まれように2分して16本ずつ60℃および90℃乾燥にそれぞれ供した。なお、精油含有量を試験するため、適宜カットした端材はハンマークラッシャーで粉碎し、φ10mmフィルターを通過した木片を作成し、これを水蒸気蒸留に供した。

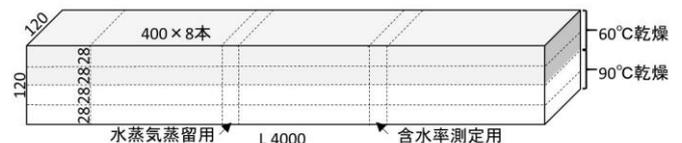


図1 乾燥試験に供するヒノキ材の木取り

\* 試験研究部

## 2.2 木材乾燥装置

木材乾燥装置として恒温恒湿器を用いた。器内の温度制御は本器のヒーターにより加温を行い、湿度制御は冷凍機を使用せず、器内に設置した湿度センサー(チノー社製, HN-CGA)の出力値からリレー制御により外部ファン(NS TECH社製, PABD15)を稼働させ、木材から発散する蒸気を強制換気することで行った(写真1, 2)。また、給気管からの蒸気の逆流を防ぐため、電磁弁を設けてファンと同様にリレー制御した。

なお、木材乾燥における蒸煮工程は水蒸気発生器を用いて外部より蒸気を導入して行った。



写真1 木材乾燥装置の給排気



写真2 積み重ねたヒノキ生材

## 2.3 乾燥スケジュール

本実験の乾燥スケジュールは木材乾燥ミニハンドブック<sup>1)</sup>を参考に表1, 2のとおりとした。本実験は精油回収が目的であるため、調湿処理は行っていないが、乾燥仕上がりを確認するため、60℃乾

燥した板材を6分割し、それぞれ含水率を測定した結果、図2に示すように乾燥ムラは小さかった。

表1 60℃乾燥用スケジュール

乾燥期間	(蒸煮)		初期			中期		後期	
時間	1	8	12	12	12	12	12	24	24
温度(°C)	50 ↑	50	50	51	53	55	57	59	60
湿度(%)	100 ↑	100	80	75	71	64	57	52	49

表2 90℃乾燥用スケジュール

乾燥期間	(蒸煮)	初期			中期		後期
時間	1	5	6	6	12	24	12
温度(°C)	85 ↑	85	85	86	87	88	90
湿度(%)	100 ↑	100	81	78	75	72	67

11.4%	11.8%	11.8%	12.0%	12.0%	11.6%
11.2%	11.5%	11.7%	11.7%	11.6%	11.3%
11.5%	12.2%	12.4%	12.3%	12.1%	11.6%
11.3%	11.5%	11.6%	11.7%	11.6%	11.3%
11.3%	11.4%	11.6%	11.7%	11.6%	11.4%
11.3%	11.7%	10.8%	11.7%	11.6%	11.3%
11.5%	12.3%	12.5%	12.5%	12.4%	11.7%
11.4%	11.8%	12.0%	11.9%	11.7%	11.4%
11.5%	11.8%	12.0%	12.1%	11.9%	11.6%
11.5%	12.0%	12.0%	12.0%	12.0%	11.5%
11.4%	12.1%	12.4%	12.4%	12.2%	11.5%
11.5%	11.8%	12.0%	11.9%	11.7%	11.3%
11.0%	11.2%	11.4%	11.4%	11.2%	11.1%
11.1%	11.7%	12.0%	12.0%	12.0%	11.2%
11.2%	11.7%	12.1%	12.3%	12.0%	11.3%
11.2%	11.4%	11.5%	11.3%	11.3%	11.0%

装置  
上部  
(手前・奥)  
↑  
↓  
下部

図2 60℃乾燥した際の材含水率分布

## 2.4 排出蒸気中の精油の回収

排出蒸気はジムロート冷却器を用いてチラー冷却(5℃)し、凝縮液として回収した。乾燥時間を3等分し、それぞれ乾燥初期、中期、後期の凝縮液の収量を求めた。回収液は上層部の精油と下層部の芳香蒸留水に分離されるが、芳香蒸留水中の精油成分を測定するため、濾紙(アドバンテック社

製,No.2)を用いて濾過し、これを固相抽出カートリッジ(GLサイエンス社製,InertSep PLS-2)により精油を吸着後、メタノール(純正化学社製,特級)で抽出した。

また、2.1で調整したヒノキ木片約120gを用い、精油定量装置で水蒸気蒸留して精油量を測定し、全乾重量あたりの精油含有量を求めた。

## 2.5 精油分析

メタノールで100倍に希釈した精油はマイクロシリンジを用いて1 $\mu$ Lを加熱脱着チューブ(吸着剤; TenaxTA)に添加した。加熱脱着装置(パーキンエルマー社製, TurboMatrix650)およびGCMS(島津製作所社製,GCMS-QP5050A)を用い、チューブに吸着した精油成分の分析を行った。分析条件を表3に示す。なお、精油の定性分析にはn-アルカン(C7-C33,Restek社製)を標準物質としてリテンションインデックスを作成した。精油のマススペクトル・データベース<sup>2)</sup>のGCリテンションインデックスおよびNISTライブラリより定性した。

表3 加熱脱着-GC/MSの分析条件

加熱脱着装置	Perkinelmer TurboMatrix650
ページ	3min
脱着流量	30ml/min
温度及び時間	230°C・5min
スプリット	入口 40ml/min 出口 10ml/min、注入率10%
トラップ	TenaxTA/ Carboxen1000
トラップ加熱	20°C-(40°C/s)-230°C(15min)
トランスファーライン	230°C
GC/MS	Shimadzu GC17A/QP5050A
測定モード	SCAN
キャリアガス	He, 1ml/min
オープン	50°C-(3°C/min)-230°C
カラム	DB-5(30m×0.25mm i. d. ×0.25 $\mu$ m)
MS温度	230°C
検出器	0.7kV

## 3. 結果及び考察

### 3.1 精油回収量

木材乾燥における回収した精油量を表4に示す。乾燥の温度条件によって精油の収量は大きく相違し、90°C乾燥は60°C乾燥よりも収量はおよそ6倍であった。材中の精油は水分とともに揮発するが、乾燥温度が高いほど揮発量は多く、収量は増加した。また、60°C乾燥の収率は乾燥時間に伴い減少し、乾燥後期の収率は乾燥初期よりも1/3倍に低下した。一方、90°C乾燥の収率は60°C乾燥のそれよ

りも減少傾向は著しく、初期が収率の大半を占め、中期においては10%と低く、後期の収率は1%程度と殆どなかった。精油量およびコストを追求する場合、乾燥温度および乾燥期間を選定する必要があることが分かった。

また、60°C乾燥および90°C乾燥の精油回収量は絶乾重量あたりそれぞれ0.05%および0.31%であった。水蒸気蒸留により定量した生材の絶乾重量あたりの精油含有量は2.00%であったことから、90°C乾燥した場合は含有量の15%程度が材より回収され、60°C乾燥した場合は僅かに回収されたことが示唆された。

また、回収した芳香蒸留水の収量を表5に示す。芳香蒸留水の収率は乾燥が進むにつれて低下し、90°C乾燥は60°C乾燥よりも収率の減少傾向は大きく、精油の減少傾向と同様であった。しかし、収量では60°C乾燥の方が90°C乾燥よりも2倍以上多く、ドレン水は60°C乾燥よりも90°C乾燥の方が多かった。これは乾燥時間の長い60°C乾燥の方が排出される水蒸気が多いとも言えるが、ドレン水の換気時の外気導入に伴う器内での水分凝縮の差も影響していると考えられる。

表4 回収した精油の収量

乾燥期間	60°C乾燥		90°C乾燥	
	精油量(g)	収率(%)	精油量(g)	収率(%)
初期	2.1	47	26.0	89
中期	1.6	37	3.0	10
後期	0.7	16	0.3	1
総量	4.4	-	29.3	-

表5 回収した芳香蒸留水の収量

乾燥期間	60°C乾燥		90°C乾燥	
	水分量(g)	収率(%)	水分量(g)	収率(%)
初期	447	41	257	60
中期	359	33	87	20
後期	296	27	85	20
総量	1,103	-	429	-

### 3.2 精油成分の分析

60°C乾燥および90°C乾燥における回収した精油のガスクロマトグラフを図3.4に示す。60°C乾燥の精油は相対的にモノテルペン類が少なく、セスキテルペン類が多く、90°C乾燥の精油は60°C乾燥と反対にモノテルペン類が多く、セスキテルペン類が少なかったことから、回収される精油成分の組

成は乾燥温度によって相違することが示唆された。定した。

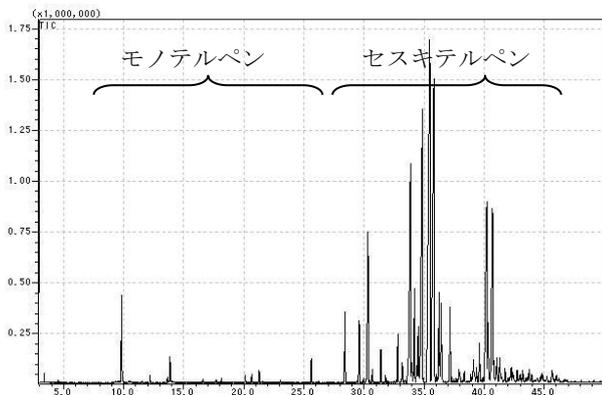


図3 60°C乾燥における精油のガスクロマトグラフ

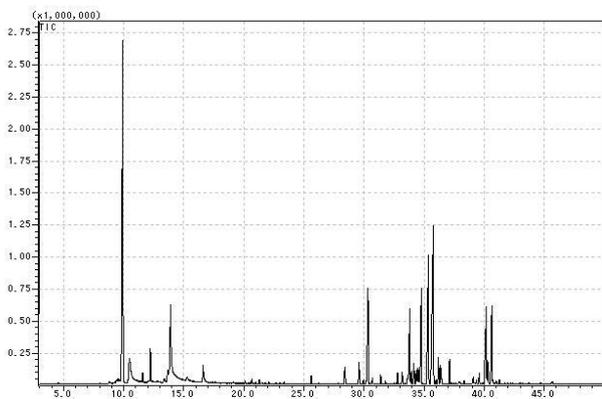


図4 90°C乾燥における精油のガスクロマトグラフ

表6に乾燥の各段階における精油成分のGCピーク面積比を示す。60°C乾燥および90°C乾燥共に乾燥が進むにつれて $\alpha$ -ピネン等のモノテルペン量は減少傾向にあり、90°C乾燥においてはその傾向が顕著であった。 $\gamma$ -カジネンや $\delta$ -カジネンなどのセスキテルペン類は60°C乾燥よりも90°C乾燥の方がモノテルペンと同様に乾燥が進むほどその割合が高くなる傾向があったことから、90°C乾燥は60°C乾燥よりも乾燥の各段階の組成変化が大きいことが示唆された。このことから、乾燥温度の相違は無論、乾燥温度の高い場合は乾燥期間においても精油の香り変化に大きく影響を与えることが考えられる。

60°C乾燥および90°C乾燥における芳香蒸留水に含まれる精油のガスクロマトグラフを図5,6に示す。37分付近と42分付近に小さなピークの相違がみられたが、60°C乾燥および90°C乾燥共に17~18分付近に大きなピークが検出され、ボルネオール、テルピネン-4-オールおよび $\alpha$ -テルピネオール等と同

表6 乾燥期間における精油成分比

成分名	GC 面積比(%)						
	60°C乾燥			90°C乾燥			
	初期	中期	後期	初期	中期	後期	
モノテルペン	$\alpha$ -ピネン	20.1	7.2	6.1	80.6	69.7	36.4
	ミルセン	1.1	0.5	0.3	2.3	2.0	0.9
	リモネン	2.5	1.3	1.1	4.0	4.4	2.7
	テルピノレン	2.3	1.2		1.6	2.0	0.6
	テルピネン-4-オール	0.5	0.2				0.3
	$\alpha$ -テルピネオール	0.6	0.3	0.3		0.5	1.0
	酢酸ボルニル	0.5	0.4	0.4			
	$\alpha$ -酢酸テルピニル	2.3	2.1	2.1			1.1
	$\alpha$ -コパエン	1.5	1.7	1.9			0.6
	$\beta$ -エレメン	1.5	1.7	2.0			0.8
セスキテルペン	$\gamma$ -ムウロレン	6.6	8.1	9.7	0.9	1.6	4.6
	$\beta$ -セリネン	0.9	1.1	1.5			0.5
	$\alpha$ -セリネン	0.6	0.8	0.7			0.4
	$\alpha$ -ムウロレン	9.0	11.7	13.2	1.3	2.3	6.8
	$\gamma$ -カジネン	13.4	16.6	20.2	2.1	4.0	10.1
	$\delta$ -カジネン	23.5	29.3	18.2	3.1	6.8	14.4
	$\alpha$ -カジネン	1.5	2.1	2.4			1.0
	$\alpha$ -カラコレン	0.5	0.7	1.8			0.6
	T-ムウロロール	4.2	5.1	6.5		2.0	7.3
	$\alpha$ -ムウロロール	0.5	0.7	1.8			1.4
$\alpha$ -カジノール	2.6	3.3	4.5	0.5	1.5	6.3	

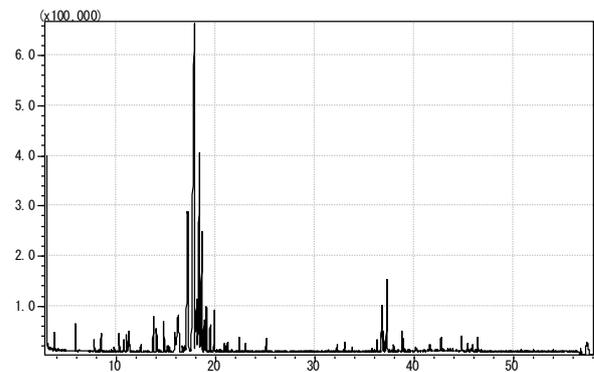


図5 60°C乾燥における芳香蒸留水中の精油のガスクロマトグラフ

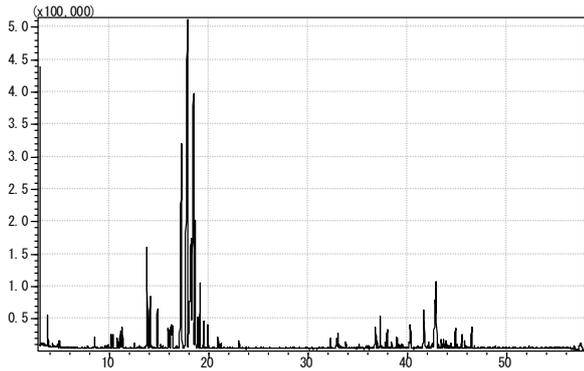


図6 90°C乾燥における芳香蒸留水中の精油の  
ガスクロマトグラフ

表7 乾燥期間における芳香蒸留水中の精油成分比

成分名	GC 面積比(%)					
	60°C乾燥			90°C乾燥		
	初期	中期	後期	初期	中期	後期
フルフラール					0.2	1.7
ツジャ-2,4-(10)-ジエン	0.7	0.9	1.2		0.2	0.5
未同定成分	0.7	0.7	0.6		0.1	
p-シメン	0.7	0.6		0.4	0.5	
リモネン	1.1	1.0	0.6	0.7	1.7	
p-シメネン	1.6	2.1	2.2	2.6	1.9	3.3
未同定成分	1.1	1.6	1.5	2.1	1.1	1.7
α-フェンコール	1.3	1.1	1.0	1.3	1.1	1.4
ピノカルベオール	1.4	1.2	1.3	1.1	0.6	0.8
未同定成分	2.5	2.3	5.2	1.0	1.0	0.8
カンフェン水和物	1.7	1.6	1.0	1.2	0.6	0.7
ボルネオール	14.4	16.3	17.3	15.5	10.1	16.4
テルピネン-4-オール	32.4	33.7	29.7	23.8	15.0	24.4
シメン-8-ol	3.5	5.3	8.0	9.8	7.4	13.6
α-テルピネオール	13.0	14.6	11.4	17.0	13.9	22.9
ミルテノール	5.6	5.7	4.6	5.1	3.2	3.8
未同定成分	1.2	1.1	0.6	1.0	0.6	0.4
ベルベノン	1.9	2.2	4.8	2.5	1.9	3.7
カルベオール	0.8	0.8	0.8	0.8	0.6	0.7
シトロネロール	1.3	1.2	0.6	0.7	0.5	0.3
酢酸ボルニル	0.4	0.2			0.5	
未同定成分	0.3	0.2		0.2	0.2	
T-ムウロロール	2.6	1.4	2.8	0.8	4.6	
α-ムウロロール	0.7	0.3	0.6		0.9	
α-カジノール	2.9	1.5	3.1	1.0	4.0	0.5
未同定成分	0.8	0.3		3.1	1.2	0.7
未同定成分				2.5	0.9	0.8

表7に乾燥の各段階における精油成分のGCピーク面積比を示す。

凝縮液の下層部として回収された芳香蒸留水中の精油は上層部の精油に比べて乾燥の各段階における組成変化が小さかった。また、上層部の精油に比べて未同定成分も多かった。

### 3. まとめ

恒温恒湿器を改良した木材乾燥装置を用いて木材乾燥を行い、乾燥過程で排出される乾燥蒸気を冷却して蒸気中の精油を回収した。

乾燥温度60°Cおよび90°Cの乾燥スケジュールによりヒノキ生材をそれぞれ乾燥させた。凝縮液は上層部の精油および下層部の芳香蒸留水に分離し、精油回収量を測定した。なお、乾燥時間による回収効率を検討するため、乾燥時間を3段階(初期、中期、後期)に分けて評価した。精油の組成はGCMSを用い、リテンションインデックスを作成して定性分析を行った。

絶乾重量あたりの精油回収量は60°C乾燥では0.05%と僅かであったが、90°C乾燥では0.31%と多く、その回収量は含有量の15%程度であった。また、乾燥が進むほど精油回収量は低下し、90°C乾燥の方がその傾向が顕著であった。

精油組成は90°C乾燥でモノテルペン類が主要な成分であったが、60°C乾燥ではモノテルペン類よりもセスキテルペン類が多く、乾燥温度によって組成割合が相対的に変化した。また、90°C乾燥の方が乾燥の各段階における組成変化が大きかった。

芳香蒸留水中の主要な精油はテルペンアルコール類であり、上層部の精油組成と大きく異なった。一方で上層部の精油に比べて乾燥温度や乾燥期間による組成変化は小さかった。

### 参考文献

- 1) 「木材乾燥ミニハンドブック」日本木材乾燥施設協会、p. 44、2009.
- 2) Identification of Essential Oil Compnents by Gas Chromatography / Mass Spectrometry 4th Edition、2007.

# 乗り心地を考慮した輸送機関用シートの開発 座面形状の改善とシートの試作

藤巻吾朗\*, 山口穂高\*, 宮川成門\*, 今井隆矢\*

## Development of a Comfortable Passenger's Seat for Transport Proposal and Evaluation of the Seat-pan Shape

Goroh FUJIMAKI\*, Hodaka YAMAGUCHI\*, Naruto MIYAGAWA\*, Ryuya IMAI\*

昨年度の研究で提案した座面形状について、データ分析の際の基準点を坐骨結節部から臀部後端部に修正し、座面形状を改善した。それにより、「臀部後方が接触しない」「座る位置がわかりづらい」などの問題を解決することができた。座り心地の評価のばらつきが小さい点、痛みや不快感、支持不足の有訴数が少ないことから、提案形状は万人受けしやすい形状であり、不特定多数の人が利用する公共交通機関のシートに適する形状であると考えられた。提案した座面形状や過去の研究成果をもとに輸送機関の客席を想定したシートの試作を行った。試作シートは20mmの厚みでも従来シートと同等の体圧分布性能を有すると考えられ、理論上はクッション使用量を従来の約70%~80%まで減らすことが可能となると考えられた。

### 1. 緒言

椅子やシートの支持面形状を人体に適合させることは、接触面積の増加による体圧分散性の向上、前すべりの防止や骨盤支持による姿勢保持機能の向上などの点において有効であると考えられ、身体負担の軽減や快適性の向上に繋がる<sup>1)~4)</sup>。

工業製品として、支持面形状を設計する際には人体形状の個人差や姿勢による形状変化を考慮する必要があるが、座位姿勢での人体形状、特に臀部形状についてはデータの蓄積がなく、設計者の感覚や経験に頼っているのが現状である。

本研究では、これまで蓄積のなかった臀部形状データの収集と分析を行い、多くの人や使用場面で活用可能な汎用性の高い座面形状を提案することを目的とする。

### 2. これまでの経緯<sup>5)</sup>

昨年度の研究では、従来測定が困難であった座位姿勢での臀部形状を測定する装置を開発し、62名を対象に座位姿勢で想定される6姿勢での臀部形状データの収集を行った。測定結果をもとに性別や体格による形状の個人差、姿勢による形状変化を分析し、様々な体格の人が様々な姿勢で座って違和感のない座面形状の提案を行った。

座り心地に関するアンケート調査を行った結果、提案した座面の座り心地は概ね良好であったが、「臀部後方が接触しない」「座る位置がわかりづらい」などの意見があり、改善の余地が残った。

また、測定装置を改良し、臀部だけでなく背部を含めた座位姿勢測定装置を開発した(図1)。



図1 開発した測定装置

### 3. 座面形状の改善と評価

#### 3.1 座面形状の改善

これまででは、データの基準点を坐骨結節部としており、臀部後方の形状を大柄な人に合わせたこ

\* 試験研究部

とにより臀部後方の支持不足を訴える人が多くなったと考えられた。また、座り位置の判断は座ぐり（座面をお尻の形にくり抜いた部分）の後端部を手掛かりにしていると推察され、小柄な人などが座った際に坐骨結節部の位置が合わず、違和感が生じるのではないかと考えられた。

以上のことから、基準点を坐骨結節部から臀部後端部に変更し、再分析した結果から座面形状の改善案を提案した（図2）。

改善案の提案にあたり、基準点を臀部後端部に修正したデータについて主成分分析を行うことで形状変化がどの部位で発生するかを分析した。その結果、坐骨結節部を基準とした場合と比較して、臀部側方、大腿部付近での形状変化が大きかった（図3）。坐骨結節部付近の形状変化については、基準点の変更前後で大きな違いは見られなかった。

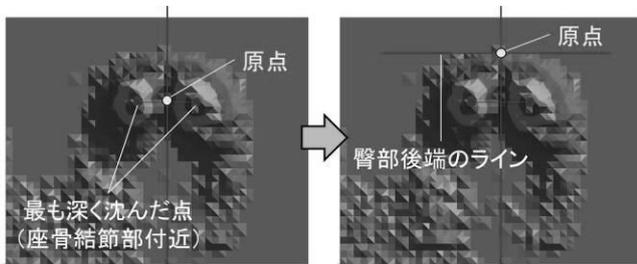


図2 座面形状提案における基準位置の修正

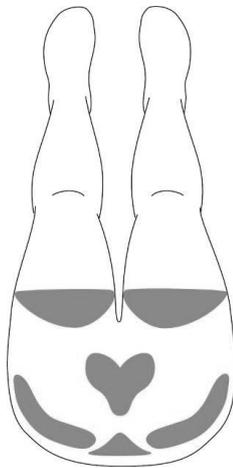


図3 基準位置修正後の分析結果の概要

### 3.2 座り心地の評価

基準点の修正が座り心地に与える影響を調べるため、表1に示す計4種類の座面を試作した。なお、座面②は昨年度提案した座面形状である。

表1 試作した座面

試作座面	説明	備考
座面①	坐骨結節部を基準に平均値を算出した座面	図4左
座面②	体格差や姿勢変化の分析結果を加味した座面	図4右
座面③	臀部後端部を基準に平均値を算出した座面	図5左
提案形状	体格差や姿勢変化の分析結果を加味した提案形状	図5右

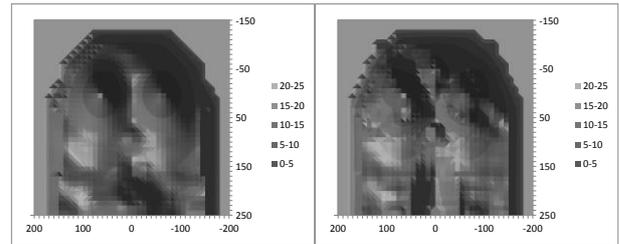


図4 試作した座面（坐骨結節部基準）  
（左：座面①、右：座面②）

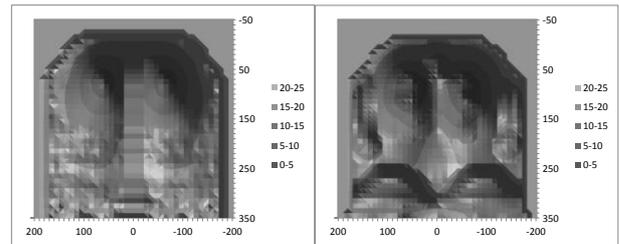


図5 試作した座面（臀部後端部基準）  
（左：座面③、右：提案形状）

「2015 飛騨の家具フェスティバル」において、84名（男性54名、女性30名）を対象に試作した座面4種類の座り心地に関するアンケート調査を行った（図6）。座り心地の総合評価を5段階の評定尺度で回答してもらった結果、座面後端を基準とした改善案は他の条件と比較して座り心地が良く、評価のばらつきも小さい傾向があった（図7）。



図6 アンケート調査の実施環境

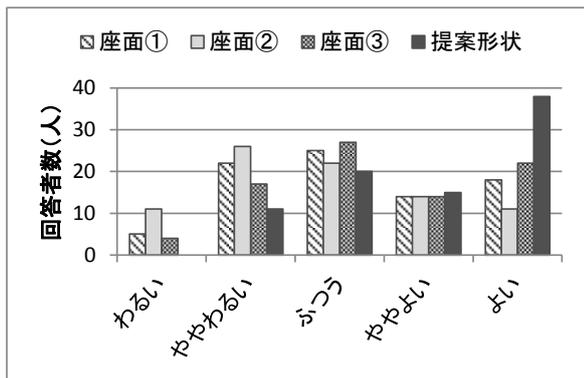


図7 座り心地に関するアンケート集計結果

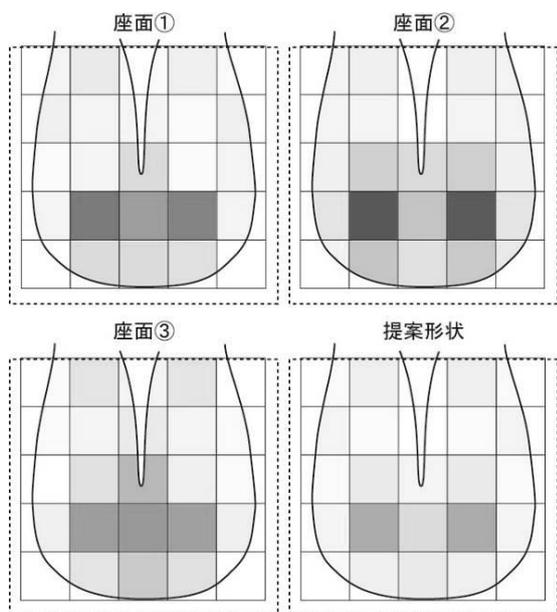


図8 痛みや違和感のある部位の調査

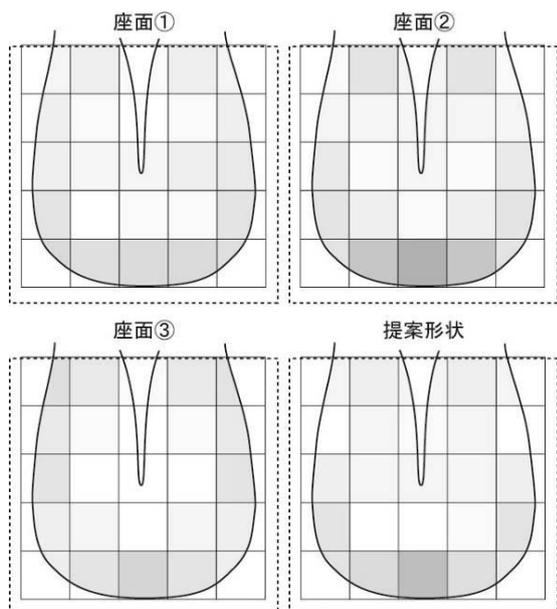


図9 支持不足を感じる部位の調査

また、痛みや不快感、支持不足に関する自覚症状を調査した結果を図8、図9に示す。座面を25個の領域に分割し、各領域における有訴者数が多いほど図中の色を濃く示した。提案形状は座骨結節部付近で痛みや不快感が生じるものの他の条件と比較して、その有訴者数は少なかった（図8）。提案形状について、尾骨付近の支持不足を回答する人がやや多い傾向があったが（図9）、尾骨の形状は個人差が大きく、これ以上の支持は一部の人の痛みを誘発すると考えられたため、体格差の緩和のためには問題のない範囲であると判断した。

自由回答については、臀部後方の支持不足に関する意見は、座面①②③ではそれぞれ1～3件あったが、提案形状ではなかった。また、座り位置がわかりづらいという意見は今回なかったが、座面②については「様々な部分が当たる」「しっくりこない」など、正しい位置に座れていないことを示唆する意見があり、提案形状ではこれらの意見はなかった。

以上のことから、提案形状は「臀部後方が接触しない」「座る位置がわかりづらい」などの問題を改善することができたと考えられ、座り心地の評価のばらつきが小さい点や痛みや不快感、支持不足の有訴者数が少ないことから、他の座面と比較して、万人受けしやすい座面形状であり、不特定多数の人が利用する公共交通機関のシートに適する形状であると考えられた。

#### 4. シートの試作

提案した座面形状をもとに輸送機関の客席を想定したシートの試作を行った（図10左）。背もたれの形状については過去の研究成果<sup>6)</sup>をもとに日本人男性の標準体型に合わせた。試作シートのクッション構成については、乗り物のシートで課題となる軽量化実現のため、従来品よりも薄い20mmの厚みで検討した。

比較用シート（図10右）については、従来品と同等の仕様で検討し、座面は平面的な形状で、背面は上下方向に緩い凸形状とし、座面、背面ともに両サイドは約10度のテーパ角で盛り上げた。クッションの厚みは部分により異なるが、およそ80mm～100mmの範囲であった。

試作シートと比較用シートの体圧分布測定を行った結果の一例を図11に示す。両シートのクッション素材は同一のものであったが、試作シートは20mmの厚みでも比較用シートと同等の体圧分布性能であったと考えられ、理論上はクッション使用量を従来シートの約20%～30%に減らすことが可能となると考えられた。シートのフレーム部の軽量

化が進む中、クッション部分の軽量化はあまり着手されていないのが現状であり、本研究の成果はシートへの更なる軽量化に繋がると考えられた。



図10 試作シート（左）と比較用シート（右）

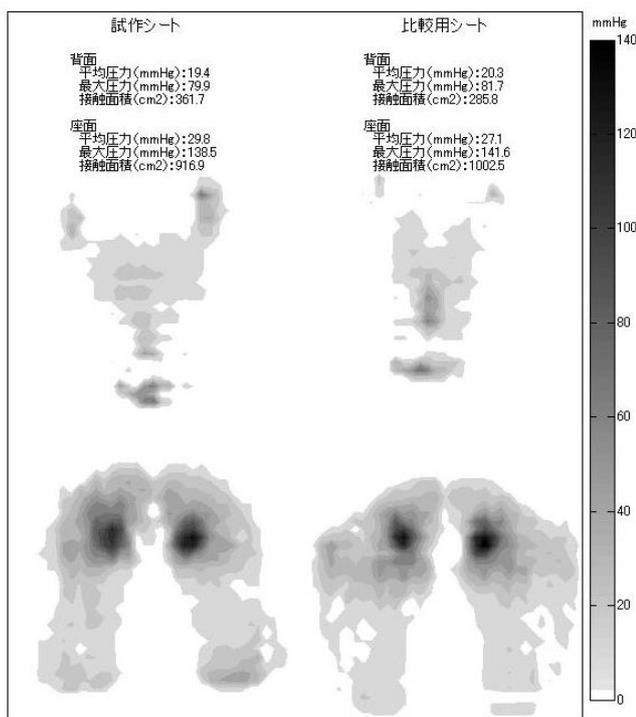


図11 従来品との体圧分布の比較  
(男性、身長177cm、64kg)

## 5. まとめと今後の課題

本研究で得られた成果を以下に示す。

- 座面形状を改善したことで「臀部後方が接触しない」「座る位置がわかりづらい」などの問題を改善することができた。

- 提案した座面は万人受けしやすい座面形状であり、不特定多数の人が利用する公共交通機関のシートに適する形状であると考えられた。
- 提案した座面形状や過去の研究成果をもとに輸送機関の客席を想定したシートを試作した。
- 試作シートは体圧分散性能が高く、理論上はクッション使用量を従来の約70%~80%に減らすことが可能となると考えられた。

今後は実際の使用場面を想定した長時間での座り心地評価や展示会等を通して県内企業への技術移転を目指す。また、提案した座面形状は汎用性の高い形状であると考えられ、輸送機関用シートに限らず、他のシーティング分野への応用も検討する。

## 謝辞

測定器の試作開発や研究にご協力いただいた(株)エヌ・ウェーブの西澤様、信州大学繊維工学部の吉田先生に感謝致します。また、試作シートのクッション構成について、共同開発した(有)野口装美の野口様に感謝致します。

## 参考文献

- 野呂影勇、座り心地品質の可視化と表示法、日本人間工学会第16回システム大会講演集、in CD、2008.
- Hirao, A., et al., Development of a New Driving Posture Focused Biomechanical Loads, SAE Paper 2006-01-1302, 2006.
- 山崎信寿、諸永裕一、短時間休息用剛体支持面安楽寝椅子の形状適合理化、人間工学、vol. 36、No. 1、pp. 29-37、2000.
- Sprigle, S., et al., Reduction of sitting pressures with custom contoured cushions, Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 27, No. 2, pp. 135-140, 1990.
- 藤巻吾朗他、座位姿勢における臀部形状の測定と座面形状の提案、平成26年度岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 17、pp. 5-9、2015.
- 藤巻吾朗、人間・生活者視点による人にやさしい製品開発(第2報)、平成19年度岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 10、pp. 8-10、2008.

# 気相エステル化による木製エクステリア家具の開発 (第2報) レッドオーク材のアセチル化

三井勝也\*, 伊藤国億\*, 石原智佳\*

## Development of Wooden Furniture for Exterior Using Gas Phase Esterification (2) Acetylation of red oak wood (*Quercus* sp.)

Katsuya MITSUI\*, Kuniyasu ITO\*, Chika ISHIHARA\*

本研究では、レッドオーク材 (*Quercus* sp.) への気相アセチル化を試みた。60°C常圧気相処理をしたところ、重量増加率は加熱時間8日間で、最大3%程度であった、ミズナラ材と比較すると2分の1程度であった。処理時にモレキュラーシーブを同封し、気相処理を行ったが、重量増加率の増大は見られなかった。一方、減圧加熱処理を行った場合、常圧気相処理に比べて、重量増加率が約3倍になった。

### 1. 緒言

木材の化学修飾は、寸法安定性の向上や耐腐朽性の向上を目的に、さまざまな研究が行われている<sup>1)</sup>。木材のアセチル化やエステル化は古くから行われており、これまでに多くの報告がある<sup>2-8)</sup>。近年、アセチル化処理技術が向上し、厚い板材に対して処理が可能となり、商品化が進められている<sup>9)</sup>。この木材は内部まで処理が行われており、その後の加工を行ってもアセチル化の効果を失うことはない。商業ベースで処理可能な樹種は今のところ限定されているが、他樹種への試みも行われている<sup>10)</sup>。

前報<sup>11)</sup>では、無水酢酸および無水プロピオン酸による気相エステル化を数種の広葉樹材に適用し、材色変化と重量増加率に及ぼす含水率の影響について検討した。常温気相処理によるエステル化では材色変化は引き起こされなかった。また、初期含水率が高くなるにつれ、重量増加率は小さくなることを確認した。しかし、無水プロピオン酸の場合、蒸気圧が無水酢酸に比べ小さいことから、常温での気相処理を行うには、無水酢酸の方が適していると考えられた。

近年、家具製造業において、利用樹種が多様化している。北米からの輸入材であるレッドオーク材も多く、多くの企業で利用され始めている。北米産のナラ属 (*Quercus* 属) の樹木は80種程度存在し、植物学的には”white oak”グループと”red and black oak”グループに分けられる<sup>12)</sup>。一般にそれぞれに

入る樹種を一括して、「ホワイトオーク」「レッドオーク」と称される。材質はレッドオークの方が一般にやや軽軟であるといわれている。

そこで、本研究ではレッドオーク材を用いたエクステリア家具を開発するため、そのアセチル化を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2.1 供試材料

本研究では、家具製造業から提供されたレッドオーク (*Quercus* sp.) を用いた。試験体寸法は20mm(R)×20mm(T)×200mm(L)とした。試験片はいずれも気乾状態 (含水率8.5±1.8%、気乾密度0.73±0.10g/cm<sup>3</sup>) のものを用いた。

#### 2.2 アセチル化

##### 2.2.1 気相アセチル化

デシケータ下部に無水酢酸を入れ、試験片を静置し、60°Cで加熱し、気相処理した。処理期間は最長8日間とした。比較として、ミズナラ材 (*Quercus crispula*) も試験に供した。処理終了後、試験片は風乾したのち、105°Cで全乾状態にし、重量増加率を次式によって求めた。

$$WPG = \frac{W_a - W_0}{W_0} \times 100$$

ここに、WPGは重量増加率(%)、 $W_a$ は処理後の全乾

\* 試験研究部

重量、 $W_0$ は処理前の全乾重量である。

### 2.2.2 モレキュラーシーブ3Aを用いた気相アセチル化

試験体の初期含水率が低い場合、気相アセチル化による重量増加率が大きくなることが確認されている<sup>10)</sup>。そこで、木材の含水率を処理と同時に低下させることを目的に、気相アセチル化を行う際に、モレキュラーシーブ3A (和光純薬工業(株)製)を約500g、デシケータ内に設置した。アセチル化処理は、60°Cで6日間とし、処理後の重量増加率の求め方については2.2.1に従った。

### 2.2.3 減圧加熱による気相アセチル化

真空デシケータ下部に無水酢酸を入れ、試験片を静置し、デシケータ内部を減圧にし、60°Cで6日間加熱した。処理後の重量増加率の求め方については2.2.1に従った。

## 3. 結果と考察

図1に60°Cでの気相アセチル化による重量増加率について示す。レッドオーク、ミズナラともに処理期間が長くなるにつれ重量増加率は大きくなった。いずれも、処理期間と重量増加率の間には良い相関が見られたが、レッドオークの重量増加率はミズナラの2分の1程度であった。

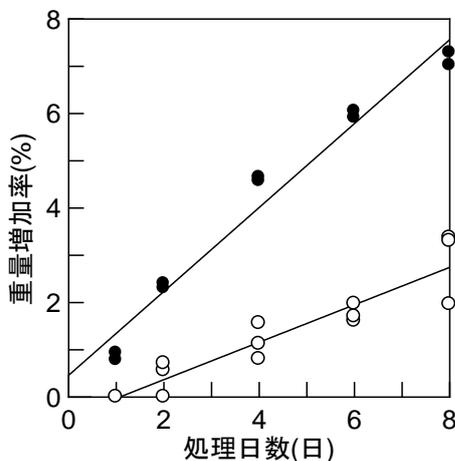


図1 60°C常圧気相処理による重量増加率の変化  
○：レッドオーク、●：ミズナラ

レッドオークやミズナラはホワイトオークに比べ、道管内のチロースの発達が小さいことから、水分の吸収が大きいといわれている。しかし、ミズナラとレッドオークの重量増加率を比較した場合、レッドオークの方が小さかったのは、無水酢

酸が反応する水酸基の量がミズナラより少ないと考えられた。また、レッドオーク (*Quercus rubra*) は保存薬剤による処理がかなり難しいことが報告されている<sup>13)</sup>ことから、材料の平衡含水率を含め、化学成分についても検討する必要がある。

図2にアセチル化方法の違いによる重量増加率の差を示す。気相処理時にモレキュラーシーブ3Aを入れた場合は、60°C常圧気相処理と重量増加率はほとんど変わらず、60°C減圧気相処理を行った場合は、重量増加率は増大した。

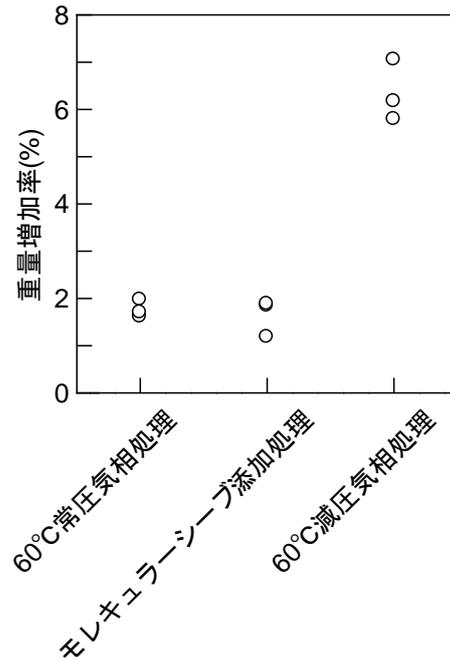


図2 処理方法の違いによる重量増加率の差

密閉容器内で気乾状態の木材を用いて気相アセチル化を行うと次の現象が起こっていると考えられる

- ・液体の無水酢酸 ⇌ 気体の無水酢酸
- ・木材からの水分の放湿  
⇌ 木材への水分の吸湿
- ・木材と気体の無水酢酸の反応  
→アセチル化木材+酢酸

木材中の水分が無水酢酸との反応を阻害することから、反応容器内に乾燥剤などを投入することにより、反応を促進することが可能であると考えられる。

モレキュラーシーブ3Aは、 $H_2O$ 、 $NH_3$ 、 $He$ など、有効直径が0.3nm未満の分子を選択的に吸着する。乾燥には、シリカゲルが用いられることが多い。しかし、吸着能力は常温ではシリカゲルの方が大き

いものの、60℃では、吸着剤100gあたり、モレキュラーシープは約20g、シリカゲルが約3gの吸着能力となる。すなわち、加熱雰囲気下の密閉容器の試験体の含水率を低減させるにはモレキュラーシープが適していると考えられる。密閉容器内で気乾状態の木材を用いて気相アセチル化を行う際にモレキュラーシープを同封すると、次の現象が起こると考えられる。

- ・液体の無水酢酸 ⇔ 気体の無水酢酸
- ・木材からの水分の放湿  
→モレキュラーシープでの水分の吸着
- ・木材と気体の無水酢酸の反応  
→アセチル化木材+酢酸

これにより、木材中の水分による反応阻害を低減化できると考えられる。

しかし、本研究ではモレキュラーシープ3Aを同封しても、モレキュラーシープを入れなかったものと同程度の重量増加率であった。これは、モレキュラーシープによる水分子の吸着が処理の初期にのみ起こり、かつ、レッドオークのアセチル化は含水率にあまり依存しない、または、使用前のモレキュラーシープの乾燥不足であったと考えられる。モレキュラーシープを用いた木材の乾燥についても再度確認する必要がある。

減圧加熱をした場合、常圧に比べ約3倍の重量増加率を得た。レッドオークは通気性が良いことから、減圧にすることにより、材内部まで十分に気体の無水酢酸がいきわたり、反応したものと考えられる。

常温常圧で気相処理を行った場合、表層から反応が進行することは明らかであり、その反応の進行を近赤外ハイパースペクトルイメージング法で計測した報告がある<sup>14)</sup>。処理後の重量増加率は見かけの重量増加率であり、表層と内部では重量増加率が大きく異なる。本研究におけるレッドオークの60℃常圧気相処理の場合、重量増加率は2%程度であるが、表層の重量増加率はこれよりも高いと考えられる。その一方、減圧気相処理の場合、重量増加率は6%程度であり、常圧気相処理と比較した場合、表層と内部との差は小さいと考えられる。

#### 4. まとめ

本研究ではレッドオーク材 (*Quercus* sp.) に種々の方法でアセチル化を試み、次の結果を得た。

- 1) 60℃常圧気相処理の場合、レッドオーク材はミズナラ材 (*Quercus crispula*) よりも重量増加率は小さかった。
- 2) 反応容器内にモレキュラーシープ3Aを同封し、気相アセチル化を行っても、処理期間6日の場合、

重量増加率に大きな差は得られなかった。

- 3) 60℃減圧気相処理を行った場合、常圧気相処理に比べて約3倍の重量増加率を得た。

#### 参考文献

- 1) Hill, C.: "Wood Modification, Chemical, Thermal and Other Processes", John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, 2005.
- 2) 小幡谷英一: 国産木材を用いたクラリネットリードの実用品質. 木材工業 63(9), 412-415, 2008.
- 3) Obataya, E. and Minato, K.: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood. : reaction rate at low temperatures. Wood Sci Technol 43, 405-413, 2008.
- 4) Obataya, E. and Minato, K.: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood I. simplified method using a mixed reagent. J Wood Sci 55, 18-22, 2009.
- 5) Obataya, E. and Minato, K.: Potassium acetate-catalyzed acetylation of wood II. Vapor phase acetylation at room temperature. J Wood Sci 55, 23-26, 2009.
- 6) 長谷川祐、本間千晶、吉田華奈: 表層アセチル化材の耐久性、第53回日本木材学会大会研究発表要旨集, pp.443, 2003.
- 7) 長谷川祐、土橋英亮、小林裕昇、本間千晶: 正角材の常圧気相アセチル化時に発生する膨潤挙動について、第59回日本木材学会大会研究発表要旨集, pp.110, 2009.
- 8) 長谷川祐、伊内是成、松井亙: 部分含浸による国産針葉樹材のアセチル化、第64回日本木材学会大会研究発表要旨集, 2014.
- 9) Accoya Wood: <http://www.accoya.com/>
- 10) Bollum et al.: Acetylation of German hardwoods. Proceedings of the 8<sup>th</sup> European Conference on Wood Modification, 164-173, 2015.
- 11) 三井勝也他、気相エステル化による木製エクステリア家具の開発 (第1報) 処理による材色変化と初期含水率の影響、岐阜県生活技術研究所研究報告、No.17, pp.20-22, 2015.
- 12) 平井信二: 木の百科、朝倉書店、1996.
- 13) エイダン・ウォーカー編集: 世界木材図鑑、産調出版株式会社、2006.
- 14) Inagaki, T. et al.: Visualisation of degree of acetylation in beechwood by near infrared hyperspectral imaging. J Near Infrared Spectrosc. 23, 353-360, 2015.

# 低環境負荷素材を用いた建築用断熱材の開発 セルロースファイバーと木質材料混合材の熱伝導率

木村公久\*, 今西祐志\*, 木村有希\*, 長谷川良一\*

Development of Building Thermal Insulators with Low Environmental Responsibility Materials  
Thermal conductivity of cellulose fiber and chip of wood mixture materials

Kimihisa KIMURA\*, Hiroshi IMANISHI\*, Yuki KIMURA\*, Ryoichi HASEGAWA\*

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、またこれに木質材料を混ぜた混合材料の熱特性を把握するため、各種サンプルを用いて熱伝導率測定を行った。

当所で行った測定結果では、セルロースファイバーの熱伝導率は密度45及び55kg/m<sup>3</sup>が0.040W/m・Kと最良であり、これより密度が高くなる、また低くなると熱伝導率は大きくなる傾向がみられた。また、セルロースファイバーと木質材料の混合材料は、密度55及び65kg/m<sup>3</sup>の場合は熱伝導率が0.042W/m・Kであり、断熱性能の大きな低下はみられなかった。

## 1. 緒言

日本再興戦略(平成25年6月14日閣議決定)<sup>1)</sup>では、住宅・ビルは高い断熱性能を有することが求められおり、また新築住宅、建築物については2020年までに省エネ基準への段階的な適合義務化が記されている。一方、地球温暖化対策として特に排出量が増大している民生部門のCO<sub>2</sub>排出量の大幅な削減が急務とされ、住宅の省エネ性能の向上による消費エネルギーの削減等に加え、建築から解体・再利用等までの建築物のライフサイクル全体を通じてCO<sub>2</sub>排出量をマイナスにするための取り組みが必要とされている。そこで、セルロースファイバー(以下、CF)は、日本国内における普及率は低い<sup>2)</sup>、製造エネルギー及び製造から廃棄までのCO<sub>2</sub>排出量は石油発泡系及び鉱物繊維系断熱材よりも少ないことから<sup>3)</sup>、住宅用断熱材として今後の普及が見込まれる素材であると考えられる。

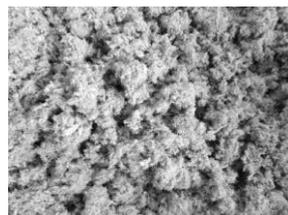
CFについては、特に低密度で吹き込み施工を行う際、沈降が起こるといった問題点がある。この問題の解決を図るため、当研究所ではCFに木質材料を混ぜ合わせるにより、施工後の沈降を抑制することを検討している。本年度は研究を進めるにあたり、主材料として用いるCF、またCFに木質材料を混ぜ合わせた混合材料の熱特性を評価するため、各条件における熱伝導率測定を行った。

## 2. 実験方法

### 2.1 供試体

実験に用いた材料は、TimberLife株式会社製のCF及び株式会社エスウッド製の桧ストランド(以下、木削片)である(図1)。これらの材料の熱伝導率を評価するため、フェノールフォーム保温板とポリプロピレンシートで製作した測定箱を用い、この中に各材料を入れて熱伝導率の測定を行った。この測定箱の構造は、200×200×約30mmのフェノールフォーム保温板の中央部を150mm角で切り抜き、これに厚み0.2mmのポリプロピレンシートを下面は両面テープで貼り、上面は材料の入れ替えができるように載せるタイプである。

CFについては、実際の天井や壁に施工されている密度範囲である25、35、45、55及び65kg/m<sup>3</sup>のサンプルを各3体用意した(図2)。また混合材料については、かさの関係により密度を55及び65kg/m<sup>3</sup>に設定し、混合比を重量比で各50%(図3)、また参考のために木削片100%のサンプルを各3体用意した。

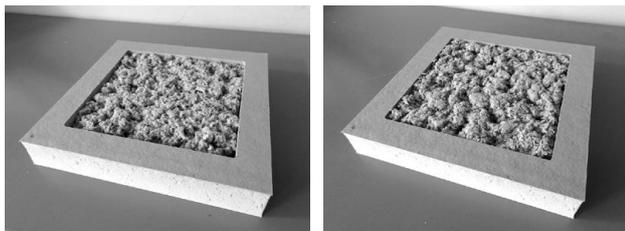


セルロースファイバー

桧ストランド

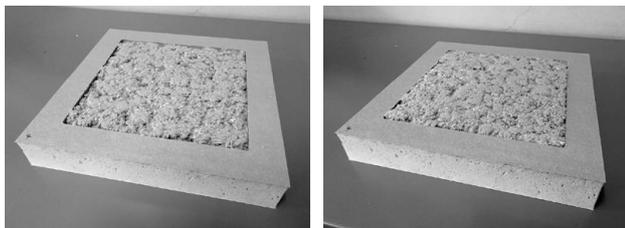
図1 材料

\* 試験研究部



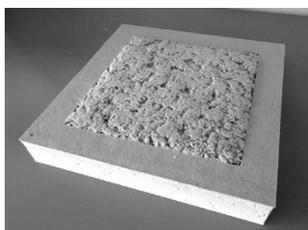
25kg/m<sup>3</sup>

35kg/m<sup>3</sup>



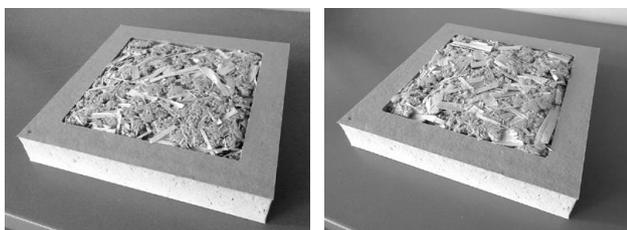
45kg/m<sup>3</sup>

55kg/m<sup>3</sup>



65kg/m<sup>3</sup>

図2 供試体(CF)



55kg/m<sup>3</sup>

65kg/m<sup>3</sup>

図3 供試体(混合材料)

## 2.2 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-Part2<sup>4)</sup>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



図4 熱伝導率測定の様子

した(図4)。温度条件は、平均温度が23℃で温度差は20℃(上プレート13℃-下プレート33℃)<sup>5)</sup>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。

## 3. 結果と考察

CFの熱伝導率測定結果を表1に示す。枠の上下に用いたPPシートの影響は、フェノールフォーム保温板を用いた測定実験で0.0001W/m・K程度であったため、ここでは特に影響はないものとする。45及び55kg/m<sup>3</sup>は、熱伝導率が0.040W/m・Kと最低値を示した。これより密度が低い場合は、熱伝導率は大きくなる傾向がみられたが、測定箱の容量に対してCFのかさが足りないことで空気の層が生じていたため、測定箱の中に材料を入れずに測定を行った室温空気の熱伝導率が平均0.188W/m・Kであったことから、この空気層の影響によって熱伝導率が高くなっていると考えられる。逆に密度が高い場合は、熱伝導率はわずかに高くなる傾向がみられたが、CF内の空隙が小さくなることにより、材料を通して熱が伝わりやすくなったのではないかと考える。

表1 CFの熱伝導率測定結果

	25 kg/m <sup>3</sup>	35 kg/m <sup>3</sup>	45 kg/m <sup>3</sup>	55 kg/m <sup>3</sup>	65 kg/m <sup>3</sup>
No. 1	0.043	0.041	0.040	0.040	0.042
No. 2	0.044	0.040	0.040	0.040	0.041
No. 3	0.045	0.041	0.040	0.041	0.041
平均	0.044	0.041	0.040	0.040	0.041

(単位：W/m・K)

混合材料の熱伝導率測定結果を表2に示す。今回実験を行った55及び65kg/m<sup>3</sup>では、密度の違いによ

表2 混合材料の熱伝導率測定結果

		CFと木削片の重量比		
		100 : 0	50 : 50	0 : 100
55kg/m <sup>3</sup>	No. 1	0.040	0.042	0.046
	No. 2	0.040	0.042	0.045
	No. 3	0.041	0.042	0.046
	平均	0.040	0.042	0.046
65kg/m <sup>3</sup>	No. 1	0.042	0.042	0.046
	No. 2	0.041	0.042	0.047
	No. 3	0.041	0.042	0.045
	平均	0.041	0.042	0.046

(単位：W/m・K)

る大きな差はみられず、CFと木削片が重量比で各50%の混合材料の熱伝導率は0.042W/m・Kであり、木削片100%は0.046 W/m・Kとなった。CFと木削片の重量比は各50%であるが、体積比としてはCFの方が大きいため、熱伝導率はCF100%の方に近い値になったと考えられる。今回、CFに木削片を混ぜ合わせることによって断熱性能の低下はみられたものの、それほど大きな損失ではないことを確認した。

#### 4. まとめ

今回の実験結果では、CFの熱伝導率については、密度45及び55kg/m<sup>3</sup>の熱伝導率0.040W/m・Kが最良値であり、これより密度が高くなる、また低くなると熱伝導率は大きくなるという結果が得られた。また、CFと木削片が重量比で各50%の混合材料の熱伝導率については、密度55及び65kg/m<sup>3</sup>では熱伝導率0.042W/m・Kとなり、木質材料を混合させてもそれほど大きな損失にはならないという結果が得られた。今後はこれらの測定結果を踏まえ、混合材料の沈降実験を行うことによって沈降の具合を検証する予定である。

#### 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、株式会社エスウッドの角田惇氏に感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 内閣府，日本再興戦略～JAPAN is BACK, p73-74, 2011.
- 2) 例えば 柿沼整三，建築断熱の考え方, p30, オーム社, 2004.
- 3) 小泉昭雄，地域の新聞で作る地産地消の断熱材, p35, 鶴書院, 2013.
- 4) 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.
- 5) JIS A 9523, 吹込み用繊維質断熱材, 2011.

# 木質フラッシュパネルにおける膨張収縮による反り解析（第2報） 有限要素法による反り変形解析

今西祐志\*1, 坂東直行\*2

## Warpage Analysis in Woody Flush Panel under Expansion and Contraction (2) Warpage Deformation Analysis by Finite Element Method

Hiroshi IMANISHI\*1, Naoyuki BANDO\*2

3×6サイズのMDFの湿度変化による反り変形と、木質フラッシュパネルの温湿度変化による反り変形の経時変化をそれぞれFEMにより解析し、計算値と測定値との比較により妥当性を検討した。FEM解析では、各試験体について測定した温度及び含水率の情報をを用い、内部に直線的な傾斜分布を仮定した。その結果、3×6サイズのMDFの反り変形については10%程度の差で妥当な計算値が得られ、木質フラッシュパネルについては反り変形の変化傾向がほぼ一致する良好な計算値が得られた。

### 1. 緒言

一般的な住宅の天井高さは2400mm程度であるが、最近ではより天井の高い2600mm程度に設計された住宅もある。部屋の開口部に設置される内装ドアの高さは標準的なものでは2000mm程度であるが、それよりも背の高いハイドアや天井まで届く高さのフルハイトドアといった仕様の商品が好まれることも多くなっており、その高さは約2200～2600mm程度となっている。内装ドアの多くは木質フラッシュパネルで、構成材である木質材料や樹脂材料が熱や湿気の影響により寸法変化を生じるため、周囲の温湿度変化や面の両側の温湿度差によっては内装ドアに反りが生じることがある。反り変形が極端な場合にはドアの開閉に支障が生じることもあり、許容される反り量には限度がある。今後、背高の内装ドアが増加することが予想される状況の中、反り変形の抑制に対する要求はさらに高まっている。

木質フラッシュパネルの反り発生を小さく抑えるため、枠材構成や面材の検討、金属製の芯材の挿入などの方法が採られるが、実大試験体の作製と環境試験による評価は実施できる回数に限りがあり、最適な設計内容を見出すことは難しい。そこで、構造物の設計などにおいて広く用いられている有限要素法（FEM）による構造解析手法を取り上げることとした。前報<sup>1)</sup>では、その基礎的な

検討として3×6サイズのMDF（1826×914×31mm）を取り上げ、小試験体について測定した含水率変動と含水率の変化によるMDFの伸縮を用いて解析を行った。反り変形挙動は測定値と定性的には一致したものの、定量的には一致しない問題が確認された。

本研究では、木質材料の含水率（MC）の変化による伸縮、樹脂材料の温度変化による伸縮をもとに、3×6サイズのMDF（木質フラッシュパネル部材のMDFと区別するためMDF36と称す）及び木質フラッシュパネル（WFPと称す）の反り量の経時変化についてFEMによる数値計算を試み、実測値との比較を行った。

### 2. 解析方法

#### 2.1 MDF36

解析対象は3×6サイズのMDF（1826×914×31mm）である。両面が20℃、65%RHの環境から、片面が20℃、35%RH（低湿側）、反対側が20℃、95%RH（高湿側）の環境に湿度が変化した際に生じる反り変形を解析した。解析には、オープンソースのCAEシステムDEXCS-WinXistrを使用した。本ソフトウェアは、無償で利用可能な統合的構造解析システムである<sup>2, 3)</sup>。図1に解析に使用したモデルを示す。反り変形は、上下及び左右の中心線を軸として対称であるため、1/4のモデルとした。境界条件としてMDFの中心点は全方向拘束、上下を2

\*1 岐阜県生活技術研究所 試験研究部

\*2 岐阜県情報技術研究所 メカトロ研究部

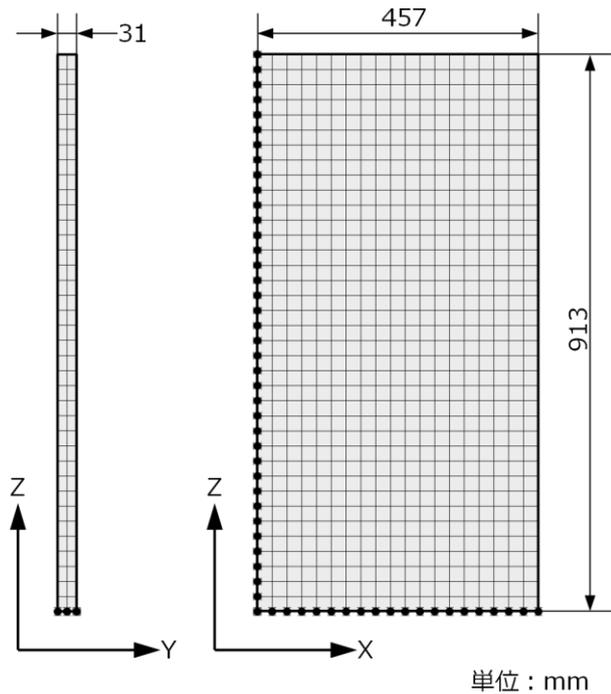


図1 解析に使用したモデル及び境界条件

分する面はxy面拘束, 左右を2分する面はyz面拘束とした。要素数, 節点数はそれぞれ1406, 8186である。MDF36の含水率変化に由来する変形を解析するため熱変形解析の計算原理を用い, 温度を含水率に, 熱膨張率を含水率1%あたりの線膨張率(LE)に置き換えて解析を行った。MDF36の含水率分布は, 環境試験時の両表面の含水率測定の結果から直線的な傾斜を仮定した。

## 2.2 WFP

解析対象は木質フラッシュパネルの内装ドア(1989×814×30mm)で, LVLの枠材にMDF(厚さ2.5mm)及びオレフィン樹脂化粧板(厚さ0.2mm)を貼った構成となっている。木質フラッシュパネルの枠材構成を図2に示す。両面が20℃, 65%RHの環境から, 片面が10℃, 60%RH(低温低湿側), 反対側が30℃, 80%RH(高温高湿側)の環境に温湿度が変化した場合に生じる反り変形を解析した。図2に枠材構成を示す。構成が上下及び左右の中心線を軸として対称であるため, 解析には1/4のモデルを用いた。要素数, 節点数はそれぞれ218617, 236189である。解析に使用したソフトウェア, 拘束条件はMDF36の解析と同じである。環境試験時に内装ドア両面の温度変化を測定し, 樹脂の伸縮に由来する変形を解析した。また, WFP両面で木質部材の含水率変化を測定し, これらから内部の直線的な傾斜を仮定して木質部材の伸縮に由来する変

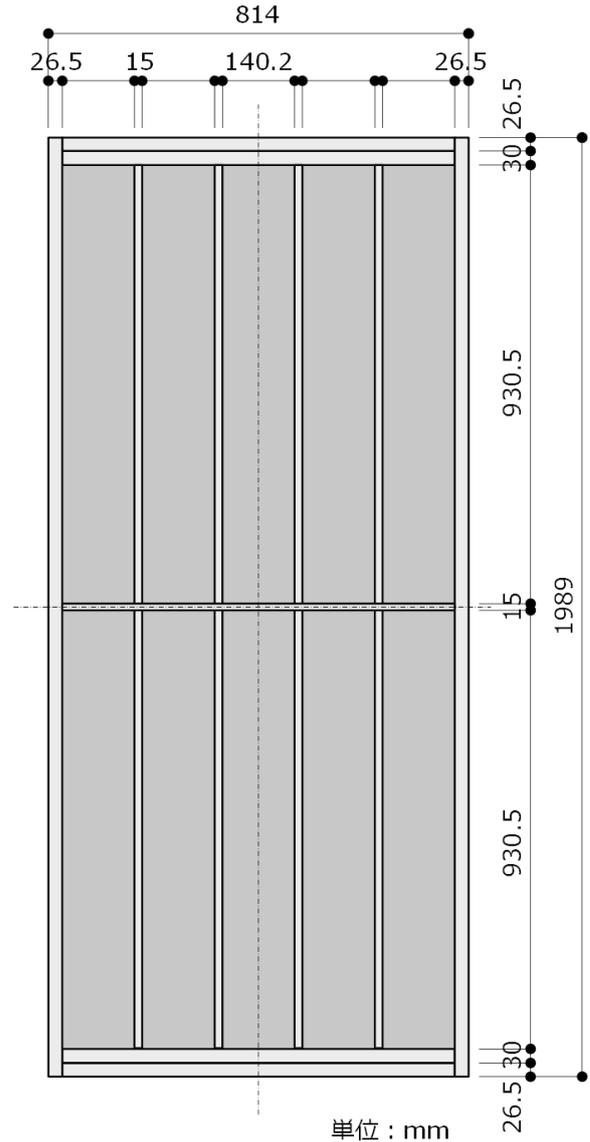


図2 WFPの枠材構成

形を解析した。

## 3. 実験方法

### 3.1 MDF36

#### 3.1.1 環境試験

試験体(1826×914×31mm)を2室型環境試験機(日立アプライアンス(株):EU-65HH-R)の2室間の開口部に設置し, 変形を拘束しない状態で試験体周囲の隙間を発泡スチロール及び粘着テープでふさいだ。2室の温湿度を20℃, 65%RHに調整して養生した後, 各室の温度は20℃を保持しつつ, 一方を35%RH, もう一方を95%RHに変化させて290時間調湿した。試験体の9点(①~⑨)に変位変換器((株)東京測器研究所:CDP-50)を設置し,

湿度変化による面外方向への変位量 ( $D_1 \sim D_9$ ) を測定した。測定した変位量から、水平方向の反り量 ( $W_{123}$ ,  $W_{456}$ ,  $W_{789}$ )、垂直方向の反り量 ( $W_{147}$ ,  $W_{258}$ ,  $W_{369}$ )、対角方向の反り量 ( $W_{159}$ ,  $W_{357}$ ) を求めた。計算は次式によった。

水平方向の反り：

$$W_{123} = D_2 - \frac{D_1 + D_3}{2}$$

$$W_{456} = D_5 - \frac{D_4 + D_6}{2}$$

$$W_{789} = D_8 - \frac{D_7 + D_9}{2}$$

垂直方向の反り：

$$W_{147} = D_4 - \frac{D_1 + D_7}{2}$$

$$W_{258} = D_5 - \frac{D_2 + D_8}{2}$$

$$W_{369} = D_6 - \frac{D_3 + D_9}{2}$$

対角方向の反り：

$$W_{159} = D_5 - \frac{D_1 + D_9}{2}$$

$$W_{357} = D_5 - \frac{D_3 + D_7}{2}$$

また、試験体両面の各4点 (×印) に電気抵抗式含水率測定器 (コーナールック (株) : KNS-LOG) を取り付け、湿度変化による含水率変化を調べた。図3に変位測定及び含水率測定の位置を示す。

### 3.1.2 含水率, LEの測定

MDF36の小試験体 (90×20×31mm) を6体用意し、20℃, 35~95%RHの環境下での重量変化を調べた。また、別に同様な小試験体を6体用意し、変位変換器 ( (株) 共和電業 : DT-30F) を用いて20℃, 35~95%RHの環境下での長さ変化を調べた。105℃, 48時間の乾燥で小試験体を全乾として基準となる重量及び長さ求め、含水率とLEの関係を得た。

### 3.2 WFP

試験体 (1989×814×30mm) について環境試験を行った。使用した試験機、試験体設置、変位測定、反り量の算出はMDFの試験と同様である。温湿度設定は、まず2室の温湿度を20℃, 65%RHに調整して養生した後、一方を10℃, 60%RH, もう一方

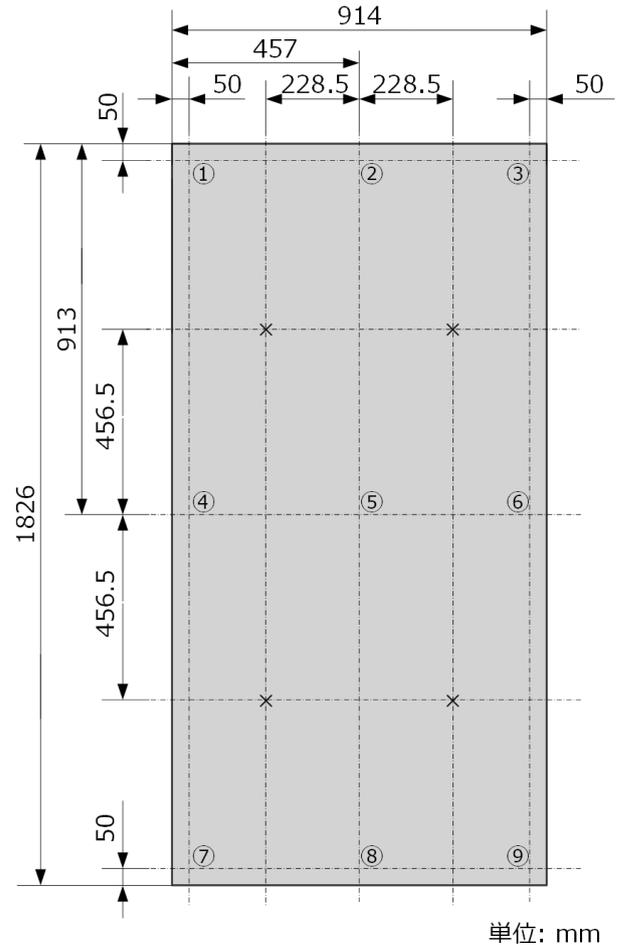


図3 MDF36の変位及び含水率の測定位置

を30℃, 80%RHに変化させて8時間調湿した。温度の測定は試験体の両面の各4点に熱電対を貼付して行った。LVL及びMDFの含水率は、試験体の両面の材部及び面材部に電気抵抗式含水率測定器を取り付けて測定した。図4に変位、温度、含水率の測定位置を示す。

また、MDF36の試験と同様にして、LVLの小試験体 (90×20×31mm)、MDFの小試験体 (100×100×2.7mm) について含水率とLEの関係を得た。

## 4. 結果及び考察

### 4.1 MDF36

#### 4.1.1 含水率の経時変化

図5にMDF36表面の含水率の経時変化を示す。290h経過時の含水率は、高湿側表面は13.9%MC, 低湿側表面は9.9%MCで、両表面間の差は3.9%であった。各環境下での小試験体の含水率差が13.4%MC (高湿側21.5%MC, 低湿側8.1%MC) であったことと比較すると、MDF36両表面の含水率差はその1/3程度であったことが分かる。

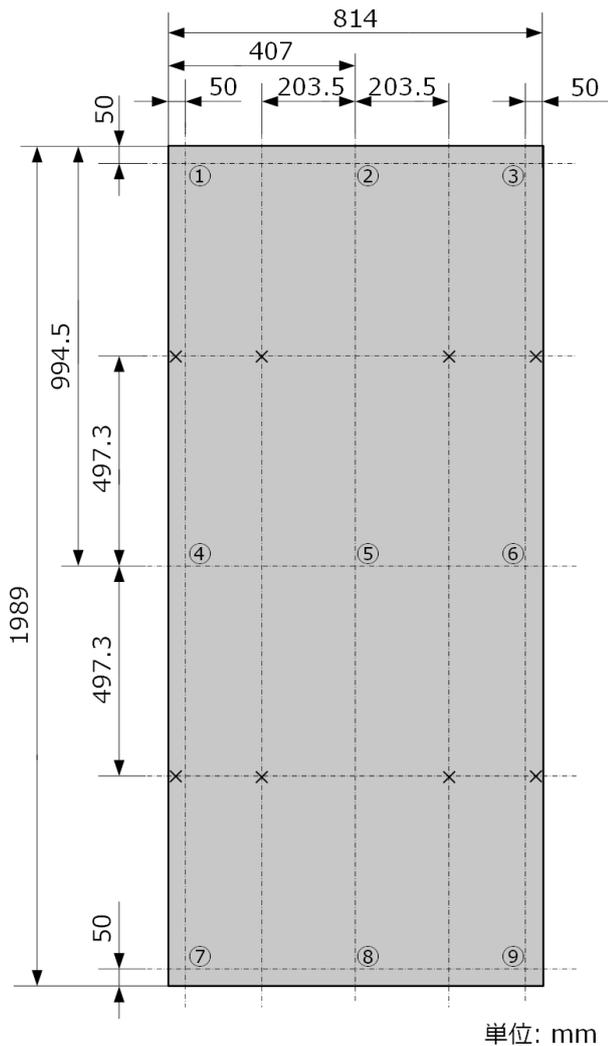


図4 WFPの変位，温度及び含水率の測定位置

#### 4.1.2 反り測定の結果とFEM解析結果との比較

図6にMDF36の反り量の経時変化を示す。正の反り量は高湿側に凸の状態を表している。試験体の反りは高湿側に凸となる変形で，測定値は約50h経過時まで急峻な増加を示し，その後の増加は緩やかであった。試験体は高湿側では面内方向で伸び，一方低湿側では縮んで，これらの伸縮が主因となって反り変形が生じている。この反り測定の結果とFEM解析の計算結果とを比較した。表1に計算に用いた物性値の一覧を示す。含水率条件として，モデルの両表面に図5の含水率の測定値を設定し，内部に直線的な含水率傾斜を仮定した。計算値は測定値と概ね一致しており，反りに関して特に問題とされる対角及び垂直方向に関しては測定値との差は10%程度であった。MDF36の反り挙動について，両表面の含水率を用いたFEM解析によって妥当な計算結果が得られることが確認できた。

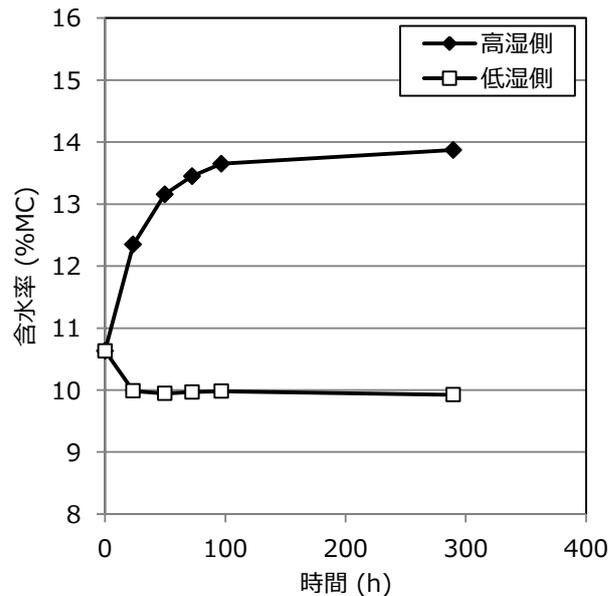


図5 MDF表面の含水率変化

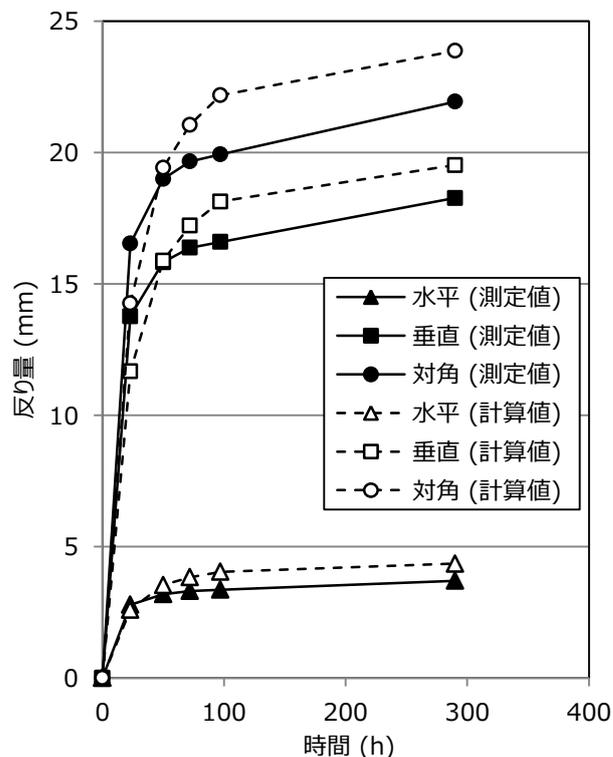


図6 MDF36の反り量の経時変化

表1 FEM解析に用いた物性値

	弾性率	ポアソン比	含水率1%あたりの長さ変化率	熱膨張率
	GPa		10 <sup>-6</sup> /%MC	10 <sup>-6</sup> /K
LVL	8.0	0.25	170	—
MDF	2.4	0.25	411	—
オレフィン樹脂	0.70	0.33	—	121

## 4.2 WFP

### 4.2.1 温度及び含水率の経時変化

図7にWFP表面の温度変化を示す。両表面の温度は、温湿度環境の変化後約0.5hで安定し、低温低湿側で14.8℃、高温高湿側で25.3℃で、約10℃の温度差となった。図8にWFPのLVL及びMDFの含水率変化を示す。枠材のLVLでは、低温低湿側は含水率が一旦減少した後に増加に転じ、高温高湿側は一旦増加した後に減少に転じる減少が見られた。一方の面材のMDFでは、低温低湿側は比較的急な含水率増加の後に緩やかな増加に変化し、高温高湿側はLVLと同様に一旦増加した後に減少に転じる減少が見られた。これらの挙動は、WFP内部の温度変化に遅れて湿気の移動が起きたことによると思われる。

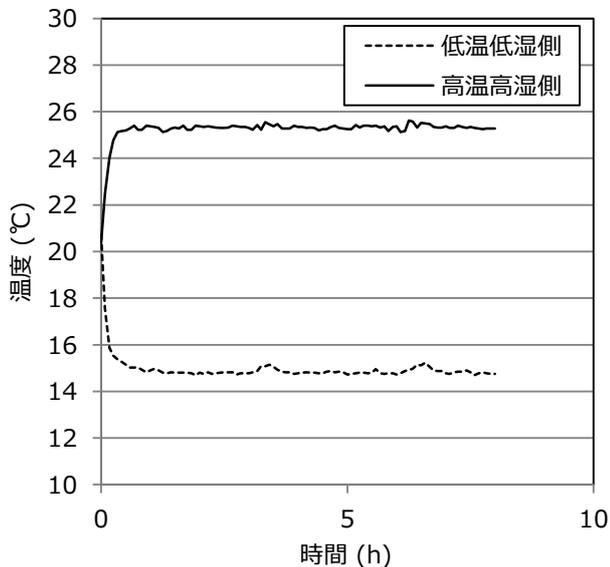


図7 木質フラッシュパネル表面の温度変化

### 4.2.2 反り測定の結果とFEM解析結果との比較

図9にWFPの反り量の経時変化を示す。正の反り量は高温高湿側に凸の状態を表している。試験体の反りは、温湿度環境の変化直後は急激に高温高湿側に凸となるが、約0.3hからは反り量が減少に転じて、8h経過時には対角方向の反り量は最大時の約20%まで減少した。経過時間約0.3hまでは両表面の温度変化により、高温高湿側では樹脂材が伸び、一方低温低湿側では縮んで、これらが主因となって高温高湿側に凸の変形が生じたと考えられる。その後、WFP内部での湿気の移動が進行し、木質の構成材であるLVL及びMDFの含水率に図8のような変化が生じて、主に低温低湿側のMDFに伸びが生じたことにより反り量の減少が進んだものと思われる。図10に、FEMにより求めたWFPの反り変

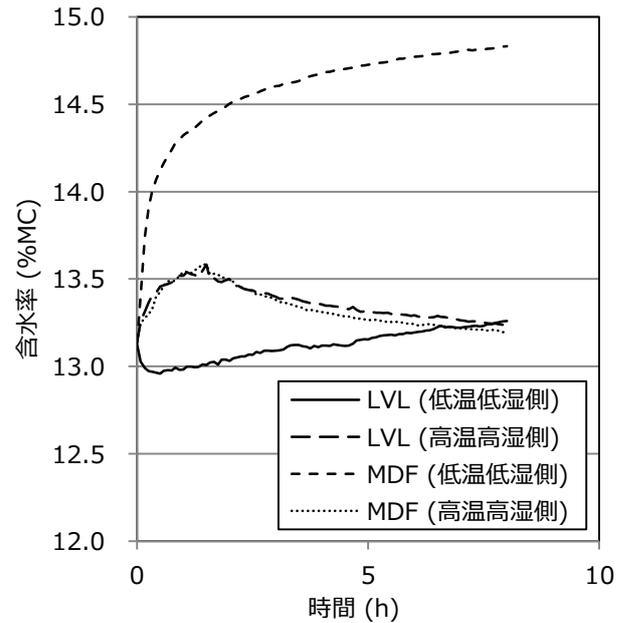


図8 LVL及びMDFの含水率変化

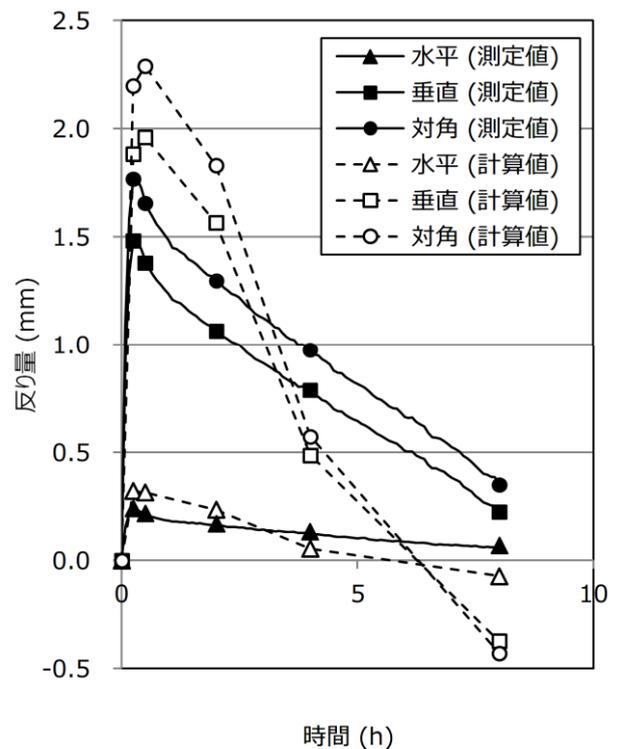


図9 WFPの反り量の経時変化

形図の一例 (0.25h時、変位を5倍に拡大) を示す。FEM解析の計算結果と反り測定の結果とを比較した。計算に用いた物性値は表1の通りである。温度及び含水率の条件としては図7及び図8の測定値を両面に設定し、内部には直線的な傾斜分布を仮定



図10 FEMによるWFPの反り変形図

した。全体的に計算値は測定値よりも大きく，局部的に両者が乖離する部分もあるが，変化傾向はほぼ一致していると言える。WFPの反り挙動について，両面の温度及び含水率の情報から内部の直線的な傾斜分布を仮定したFEM解析によって比較的良好的な計算結果が得られることが確認できた。

## 5. まとめ

湿度変化による3×6サイズのMDFの反り変形と，温湿度変化による木質フラッシュパネルの内装ドアの反り変形の経時変化をそれぞれFEMにより解析し，計算値と測定値との比較により妥当性を検討した。FEM解析では，各試験体について測定した温度及び含水率の情報を用い，内部に直線的な傾斜分布を仮定した。その結果，3×6サイズのMDFの反り変形については10%程度の差で妥当な計算値が得られ，木質フラッシュパネルについては反り変形の変化傾向がほぼ一致する良好な計算値が得られた。解析に用いたモデルは，MDFの密度分布やLVLの接着層などの因子を考慮しておらず，また温度と含水率についても直線的な傾斜分布を仮定した単純なものであるが，両面の温湿度差に由来する反り変形挙動の解析が概ね可能であることが確認できた。

本研究におけるFEM解析では，実大試験体の環境試験時の温度及び含水率の情報を用いているが，例えば30cm角程度で作製した小試験体について得られた情報が解析に活用できれば，様々な枠材構成の木質フラッシュパネルの反り変形を計算によって求めることができるものと期待できる。

## 参考文献

- 1) 今西祐志他，木質フラッシュパネルにおける膨潤収縮による反り解析 MDFの反り挙動の解析，岐阜県生活技術研究所研究報告，No. 17，2015.
- 2) “Windows 版実践的統合構造解析システム DEXCS-WinXistr”，岐阜高専 DALAB チーム，[http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/151221/DEXCS-WinXistr\\_Introduction.pdf](http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/151221/DEXCS-WinXistr_Introduction.pdf)，（参照 2016-03-18）.
- 3) FrontISTR 研究会，<http://www.multi.k.u-tokyo.ac.jp/FrontISTR/index.php>，（参照 2016-03-18）.

# 木工用自動倣い加工機の開発（第2報） 形状計測データを用いた木材切削システム

森茂智彦\*

## Development of Automatic Wood Copying Lathe (2) Wood cutting system using shape measurement data

Tomohiko MORIMO\*

低コストな木工用自動倣い加工機の開発を目的として、立体物の形状計測データを用いた木材の切削方法を検討した。形状計測データから刃物の切削経路を生成し、切削を行うことで、形状計測データとほぼ同じ形状に切削することができた。形状計測データに補間処理を適用することで、切削物の再現性を向上させることができた。

### 1. 緒言

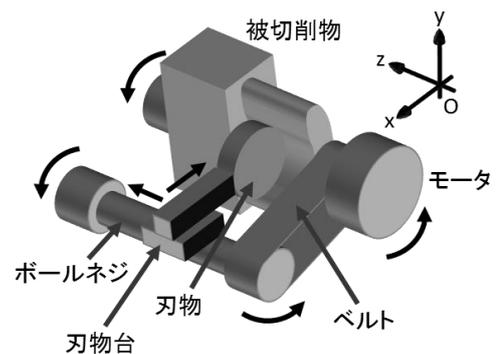
飛騨地区の家具産業で主に製造されているテーブルや椅子の部材は、多品種・少量生産のものが多く、効率的な生産方法が求められている。

家具の部材加工の一つである倣い加工の問題点を解決するため、昨年度から加工し易い材料で作製した原型の形状計測を行い、そのデータを用いて加工を行う機械の開発を行っている<sup>1)</sup>。前報では、レーザー距離センサを用いた立体物の形状計測<sup>1)</sup>を行った。今年度は、形状計測データを用いた切削方法を検討したので、結果を報告する。

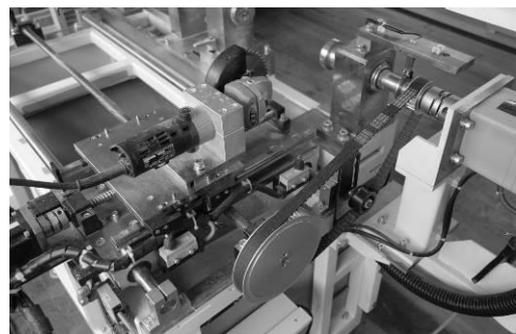
### 2. 切削方法

#### 2.1 切削システム

図1に切削システムの模式図を示す。モータの回転軸と刃物台を取り付けたボールネジをベルトで結合する。モータを回転させることで、モータ軸上に取り付けた被切削物ワークの回転と同期して、刃物台がワークの回転軸方向(Z軸方向)に移動する。刃物台上の刃物は、X軸方向へ移動することでワークを切削する。刃物には高速な切削速度が得られるチップソーを用いる<sup>2)</sup>。



(a) 模式図



(b) 実機

図1 切削システム

#### 2.2 切削システムの制御方法

被切削物の回転と刃物のZ軸方向の移動は同期しているため、刃物のX軸方向の移動について以下のような制御を考えた。

①刃物のX軸方向の移動量により、被切削物の形状

\* 試験研究部

が決まるため、予め計測データ通りに加工できる刃物の移動経路を算出(3. 工具経路参照)し、その経路に沿ってX軸を移動させる

- ②被切削物の回転とZ軸方向の移動に、X軸方向の移動も同期させるため、X軸座標値は、被切削物の回転速度から算出する一定周期毎に指定する。

この制御により、被切削物の回転とX軸方向の移動を独立して制御した場合でも、被切削物の回転速度とX軸座標の移動周期が一定であれば、複雑なシステムを使用せず、見た目上、同期させることが可能である。

### 3. 工具経路

前報のレーザー計測で求めた原型までの距離では刃物径が考慮されていないため、図2に示すように、正しい被切削物が切削できない。そのため切削したい形状に合わせた経路を生成する必要がある。

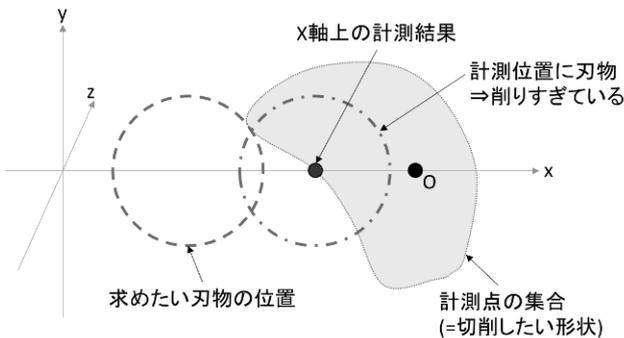


図2 刃物と計測点

Z座標値における刃物のX座標値を下記の通り算出する。

- ①Z座標値における計測データの角度を $0^\circ$ として、前後に原型半回転分の全ての計測点について、式(1)により、X軸との距離が刃物の半径分になるX座標を求める(図3)。
- ②①で算出したX座標値の中で原型の回転中心から最も離れているX座標の最小値を刃物の経路座標とする。
- ③計測点の集合を回転させ、次の一定周期後のZ座標値における刃物のX座標値を、再度①から計算する。

$$X = L \cdot \cos \theta + \sqrt{R^2 - (L \cdot \sin \theta)^2} \cdots (1)$$

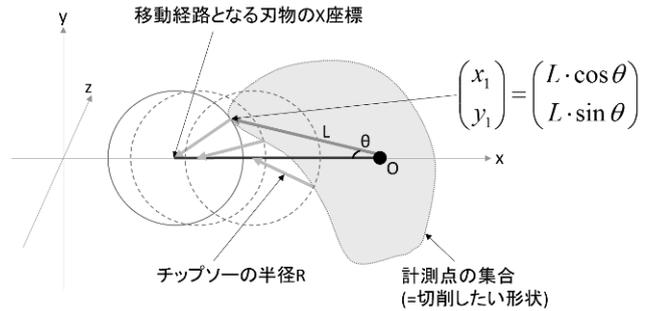


図3 経路生成

### 4. 計測データの補間処理

項目3の経路生成を行うには、刃物に最も近いデータが存在する可能性が高いX軸上のデータが必要である。

計測データは点で存在しているため、X軸上にデータが存在しない場合には、図4に示すように削りすぎる可能性がある。そのため、計測データ間のデータを補間処理により求めた。

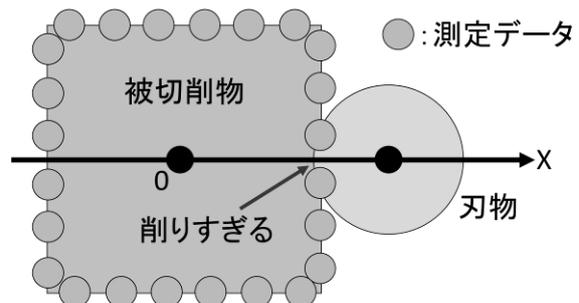


図4 X軸上に計測データが存在しない時

図5に計測データの拡大図を示す。既知の計測点を○、補間により求めるX軸上の座標を●で示す。既知の計測点の座標系は、X, Y座標を極座標系、Z座標を直交座標系とする。また、各計測点の座標値は、求める点のY, Z座標を0とした相対座標値とする。

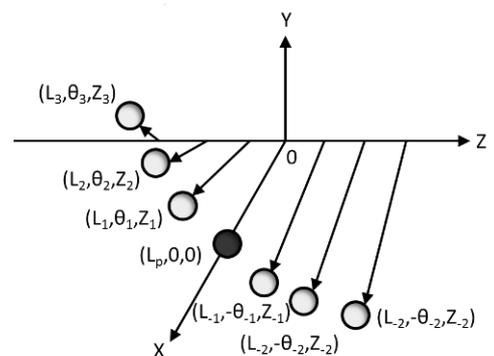


図5 計測データの拡大図

まず、既知の計測点の中から補間に用いる点を選択する。選択基準として、式(2)を用いる。 $\theta_i$ は、X軸から見た各計測点までの角度を示しており、最も角度が小さい点=最もX軸に近い点として評価する。

$$\begin{cases} \theta_i = \sqrt{\theta_{Li} + \theta_{zi}} \\ \theta_{zi} = \arctan\left(\frac{z_i}{L_i}\right) \dots (2) \end{cases}$$

式(2)より求めた角度が小さい順に、任意の数の計測点を選択する。

選択した計測点を用いて、式(3)により補間処理を行い、X座標を算出する。

$$x_p = \frac{\sum_{i=0}^n x_i w_i}{\sum_{i=0}^n w_i} \dots (4)$$

$$w_i = \frac{1}{\sqrt{y_i^2 + z_i^2}}$$

他の補間点についても、補間で求める点をX軸上の点とし、Y,Z座標値を0として、同様に計算する。

全ての補間点を計算後、それら補間点を用いて項目3の方法により経路を計算した。

## 5. 結果及び考察

### 5.1 実験条件

図6に原型形状、図7に原型形状の計測結果<sup>1)</sup>、表1に切削条件を示す。1回転あたりのX軸座標指令点は、計測時の計測条件である1回転あたりの計測回数と同じ値にした<sup>1)</sup>。

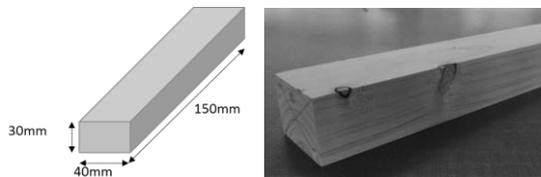


図6 原型形状

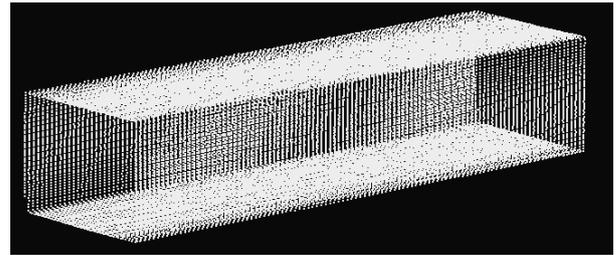


図7 計測結果(光軸ずれ角補正適用)

表1 切削条件

モータ回転数	30	min-1
1回転あたりのX軸座標指令点	250	点/回転
1回転あたりのZ軸移動量	1.44	mm/回転

### 5.2 経路生成結果

図8, 図9に、図7の計測結果を用いて経路を生成し、さらに経路生成結果を用いて、切削シミュレーション(付録参照)を行った結果を示す。

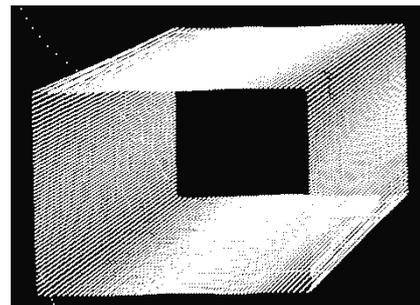


図8 シミュレーション結果(補間未適用)

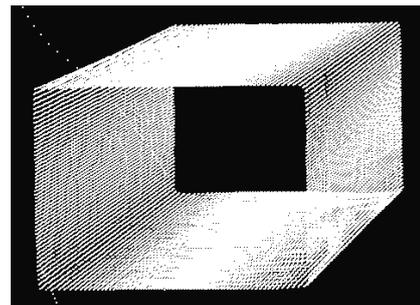


図9 シミュレーション結果(補間適用)

図8, 図9のシミュレーション結果にて、ある断面の座標を抜き出したものを図10に示す。面補間を行った方が、切削を行った際に削りすぎとなる凹みが解消されていることが分かる。尚、図10において、補間適用の有無で、最大0.85mmの誤差があった。

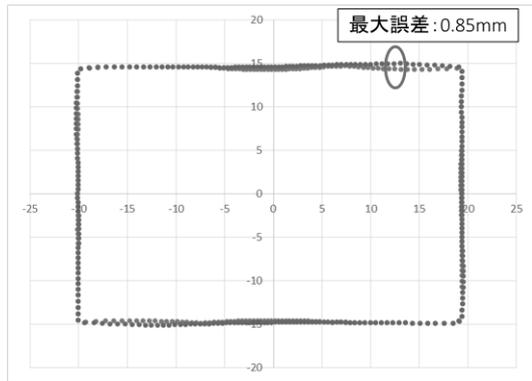


図10 シミュレーション結果の一部の断面図

### 5.3 切削結果

図11に、切削結果を示す。原型とほぼ同じ形状に切削することができた。

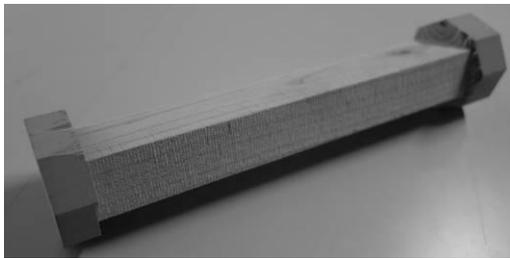


図11 切削結果

## 6. まとめ

レーザー距離センサによる計測結果を用いて、工具の経路を生成し、切削を行った。結果、加工し易い素材で作製した原型を用いて、原型と同形状に切削することができた。

経路生成にあたり、光軸ずれを考慮した誤差補正を適用した形状計測データから面補間を適用し、切削時の経路を算出した。生成した経路を用いて切削シミュレーションを行ったところ、補間処理を適用した方が、切削時に削りすぎることを防止できると考えた。

今後の課題として、原型と切削物の誤差計測、切削条件の最適化が挙げられる。

### 謝辞

本研究は協同組合飛騨木工連合会自主改善研究会の皆様の協力により共同で実施した。ここに感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) 森茂智彦、木工用自動削り加工機の開発（第1報）レーザー距離センサを用いた立体物の形状計測技術、岐阜県生活技術研究所研究報

告、No.17、pp.32-35、2015.

- 2) 橋本裕之他、3次元加工を実現した CNC 木工旋盤の開発、第62回日本木材学会大会研究発表要旨集、S16-09-1545、2012.
- 3) 橋本裕之、3軸NC木工旋盤システム、特許第4784767号、2011.

### <付録> 切削シミュレーションのアルゴリズム

- ① 図aにある時点における切削前の形状を示す点群データと経路生成結果による刃物の位置関係を示す。この場合、刃物径を考慮すると、●で示す点は○で示す点まで削られる。この時の原点から○までの距離Lは式Aで求められる。Xは刃物のX座標、Rは刃物の半径、 $\theta$ は原点と●のX軸に対する角度である。
- ② その他の点群データ(●)の中で、刃物に干渉している点について同様の計算を行う(図b)。
- ③ 次の一定周期後の切削状態を計算するため、計測点の集合を回転させ、その時点での刃物の位置座標を元に、①、②同様に計算を行う(図c)。
- ④ ③を順次繰り返す。

$$L = X \cdot \cos \theta - \sqrt{R^2 - (X \cdot \sin \theta)^2} \dots (A)$$

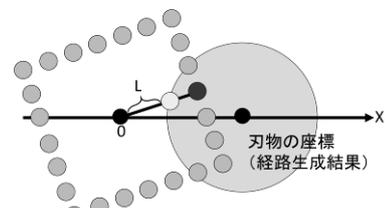


図 a ある時点における位置関係(計算前)

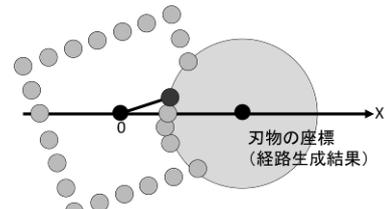


図 b ある時点における位置関係(計算後)

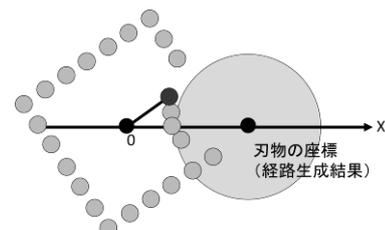


図 c 一定周期後の位置関係(計算前)

# 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（第2報） 許容曲げ半径の推定に関して

石原智佳\*, 今井隆矢\*, 三井勝也\*, 伊藤国億\*, 長谷川良一\*

## Establishing an Optimum of the Bentwood Operation for High-quality Furniture Wood (2) Estimation of allowable bending radius

Chika ISHIHARA\*, Ryuya IMAI\*, Katsuya MITSUI\*, Kuniyasu ITO\*, Ryoichi HASEGAWA\*

飛騨地域は木製家具の産地であり、「飛騨の家具」というブランド商標を持つ。椅子では、「曲げ木」部材を用いる特徴がある。従来は曲げ木に適した材質であるブナが主材料であったが、良質材の減少やデザインの多様化によって様々な樹種が利用されている。しかし、樹種特性の違いによると考えられる不良現象の発生率の高さや、新しい材料樹種への対応が課題となっている。そこで本報告では、曲げ木の条件設定を簡易に行えるようにするために、樹種別に曲げ半径・材厚さ・含水率などに関して、最適な組合せを導く手法を検討した。

### 1. 緒言

木材は常態では曲げにくい、蒸煮や煮沸処理により軟らかくなることは古くから知られている。1830年代にはドイツの技術者ミハエル・トーネット氏が曲げ木の技術を考案し、現在もこの技術が受け継がれている。

飛騨では1920年頃から曲げ木を特徴とした椅子の製造が始まった。当初は、地域に豊富にあったブナが原材料であったが、現在では樹種も増え、曲げ形状も多様化している。しかし樹種特性の違いによると考えられる曲げ時の不良現象として、「割れ・しわ・座屈」の発生が課題となっている。また、利用樹種の増加に対策が追いつかない点も重要な課題である。

前報<sup>1)</sup>においては、蒸した材の曲げ強さ等、力学的性質の測定を行い、これらの数値から良好な曲げ木を行える材条件を模索したが、「蒸し」の効果は確認できたものの、数値における明瞭な相関関係を見いだすことができなかった。一方、既往の研究では、ブナ・ミズナラからの転換樹種として検討されていた南方材に関する報告がある<sup>2), 3)</sup>。これらの報告では、トーネット法による曲げ限界を算出する検討も行われており、縦圧縮破壊試験によって求めるひずみを基にしているが、ひずみ測定は簡易な手法とはいえない。また、当時と利用樹種が大幅に変化しており、今後も新たな樹種

を導入していくと推測できる。そこで、より簡易で様々な樹種に対応できるような、曲げ限界を推定する手法が必要と考え、本報告では、樹種別に曲げ半径・材厚さ・密度・含水率といった各種条件と曲げ性の相関を評価し、最適な組合せを設定する手法を検討した。

### 2. 許容曲げ半径の推定方法

#### 2.1 樹種

検討した樹種は当地域の家具材によく使用される国産材のブナ・ミズナラ、外国産材のホワイトオーク・ウォルナット・チェリーを選定した。人工乾燥済み板材を購入し、所定の寸法に加工した。なおブナについては天然乾燥材も実験に供した。

#### 2.2 実験方法

材厚さと、良好な曲げが可能な曲率（曲げ半径）との相関を調べるために、図1に示す曲げ型を用いて実験を行った。

材厚さ10mmと15mmの試験体に対して、評価する曲げ半径をそれぞれ60mmと150mmとした。曲げ木材の引張変形を抑制するための治具は、図2に示すように、ステンレス板（約0.5mm厚）の両端に固定用の木片をネジで取り付けたものである。

\* 試験研究部

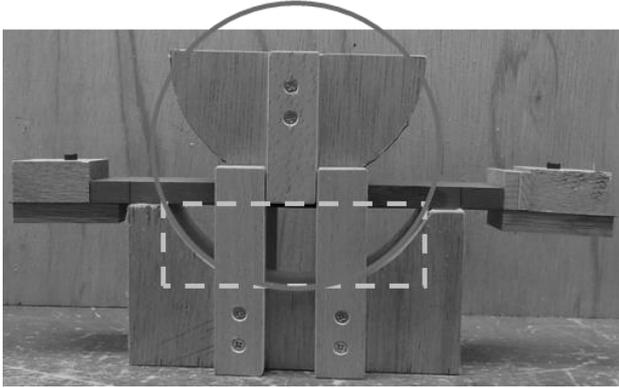


図1 曲げ型（半径60mm）および材固定治具  
 ・図上に描いた円の半径が60mmである  
 ・四角の高さが曲げたわみの最大値となる



図2 固定用治具に材をセットした様子

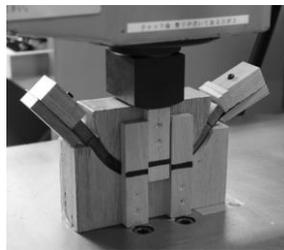


図3 曲げ試験の様子

試験体寸法は、曲げ半径60mmの試験の場合、幅30 [放射方向(R)]×厚さ10 [接線方向(T)]×長さ200 [繊維方向(L)]mm、曲げ半径150mmの場合、30[R]×15[T]×260[L]mmとした。

材を調理用蒸し器内で所定の含水率に蒸し、すばやく曲げ試験に供した。なお、ここでいう含水率とは、表面に水分が多い傾斜状態にあり、重量で求めた見掛けの含水率である。

曲げ試験は図3のように、型を油圧式万能試験機（島津製作所製UH-100KNC）で押す方式で行い、得られる荷重-たわみ曲線を基に、許容曲げ半径の推定を行った。荷重速度は40mm/minとした。

### 2.3 許容曲げ半径の算出法

曲げ時の「割れ・しわ・座屈」等の不良現象が生じない曲げ半径を求める評価方法を図4に示す。中心Oの円は図1中に示した円と同一で、半径をrとする。四角で示した最大たわみは図4にてhとした。

曲げ半径60mmの型の場合、 $r=60$ 、 $h=40$ 、 $AB=113\text{mm}$ であり、曲げ半径150mmの場合、 $r=150$ 、 $h=31$ 、 $AB=182.6\text{mm}$ である。

ABの長さをcとすると、三平方の定理より、式①  

$$r^2 = (c/2)^2 + (r-h)^2 \quad \text{--- ①}$$
 が成り立つ。この曲げ半径rを許容できるということは、最大たわみに至るまで割れ等の不良現象の

発生による荷重低下が見られなかった場合である。曲げ途中で不良現象が生じた場合、変形の限界であると解釈でき、このときのたわみを $h'$ とし、許容できる曲げ半径は $r'$ とみなすことができる。 $r'$ を計算で求める式は、式②、③となる。これらの算出により、曲げ半径 $r'$ が小さいほど曲げ性が良好といえる。

$$r'^2 = (c/2)^2 + (r' - h')^2 \quad \text{--- ②}$$

$$r' = \frac{c^2 + 4 \times h'^2}{8 \times h'} \quad \text{--- ③}$$

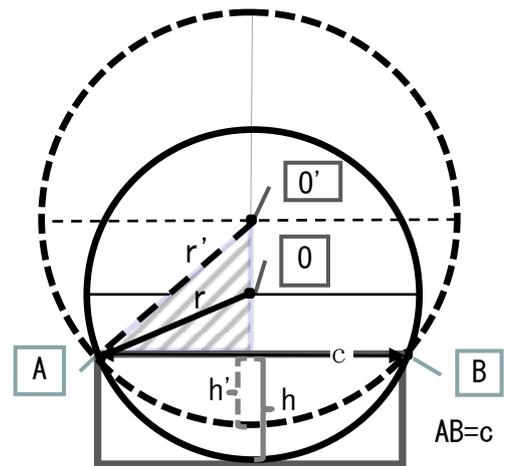


図4 曲げ半径とたわみの関係

○型に沿って曲がる場合：

中心Oの円の半径がr、限界たわみがh

○限界たわみに至る前に破壊が生じる場合：

曲げ半径は、中心O'の円の半径r'

## 3. 結果及び考察

### 3.1 曲げ性

各樹種の材厚さと許容曲げ半径の相関を表1に示す。含水率は蒸した直後の値であり、密度は気乾状態のもの、たわみは曲げ試験において割れ等の破壊が起こらない限界値である。

蒸すだけでは型の限界まで曲がらない材は、前処理として水に浸けることを検討した。また、水分量の限界での曲げ性も把握するために、飽水処理を行った場合についても検討した。

ブナは曲げ木に適した樹種として従来から利用されているが、今回試験したブナの天然乾燥材はやや低密度であることが要因かは明確でないが、曲げ性が小さく、すぐに座屈が発生した。従来、天乾材の方が曲げ木に適していることが知られており、今後再検討を行う。

ミズナラでも密度差が大きく影響していると考えられ、低密度材では座屈と引張破壊が顕著にみ

られた。高密度材では含水率20%でも良好な曲げを観察でき、低密度材では水分量を増やすことで良好な曲げとなる傾向がみられた。

ホワイトオークは高密度材であるが、蒸し後の含水率が20%を越えるように調整することで曲げ半径が小さくなる。

表1 樹種別、材条件と許容曲げ半径の相関

10mm厚さの場合	ブナ		ミズナラ	ホワイトオーク	チェリー		ウォルナット	
	人乾	天乾						
含水率(%) 20%以下	20	19	20	17	20	19	20	20
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.70	0.65	0.74	0.84	0.57	0.62	0.83	0.56
たわみ (mm)	39.5	14.2	39.5	17.9	6.5	11.1	39.5	13.3
許容曲げ半径 (mm)	60	116	60	96	229	143	60	127
含水率(%) 21%以上	大差あり 原因:密度? 乾燥方法?		24	21	水分が 多いほど 良好		高密度材 良好	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	低密度材 水分が必要な 傾向		0.53	0.88				
たわみ (mm)			16.3	34.9				
許容曲げ半径 (mm)			103	63				
含水率(%) 一晚浸水 + 蒸し			31	22			25	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )			0.63	0.89	0.58		0.64	
たわみ (mm)			19.6	34.5	9.0		39.5	
許容曲げ半径 (mm)			89	63	173		60	
含水率(%) 飽水処理 + 蒸し	70		90	65	60		55	
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.70		0.55	0.85	0.56		0.73	
たわみ (mm)	39.5		39.5	39.5	12.7		39.5	
許容曲げ半径 (mm)	60		60	60	127		60	

15mm厚さの場合	ブナ		ミズナラ	ホワイトオーク	チェリー		ウォルナット
	人乾	天乾					
含水率(%) 20%以下	18	18	20	17	20	18	18
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.67	0.67	0.63	0.84	0.52	0.63	0.70
たわみ (mm)	30.5	30.5	30.5	30.5	8.7	16.6	30.5
許容曲げ半径 (mm)	150	150	150	150	460	253	150

チェリーの低密度材は、今回の一連の実験ではまったく良好な曲げ性が認められなかった。すぐに座屈あるいは引張破壊が起きてしまい、やや高密度な材の場合に少し改善がみられた程度である。したがって現状においては、樹種の特長として、可能な形状での利用が望ましい。

ウォルナットの場合も、密度の違いで曲げ性に大きな差がみられ、高密度材ほど良好な傾向であった。

このように、樹種ごとでは、「高密度材のほうが曲げ半径の小さな形状に適する」ということや、また、「必要な水分量の程度」といったことが把握することができた。したがって、密度と含水率といった項目だけでなく、樹種と水分量と熱軟化温度を把握し、より曲がりやすい状態を見いだすことが必要と考えられ、今後検討をすすめていきたい。

### 3.2 吸湿性

前項において、曲げ試験の前処理である蒸す工程の前後に重量を測定し、のちに全乾方法により含水率を算出した。これらの測定値を、各樹種の厚さ（材寸法）別の吸湿性を把握するために、図5

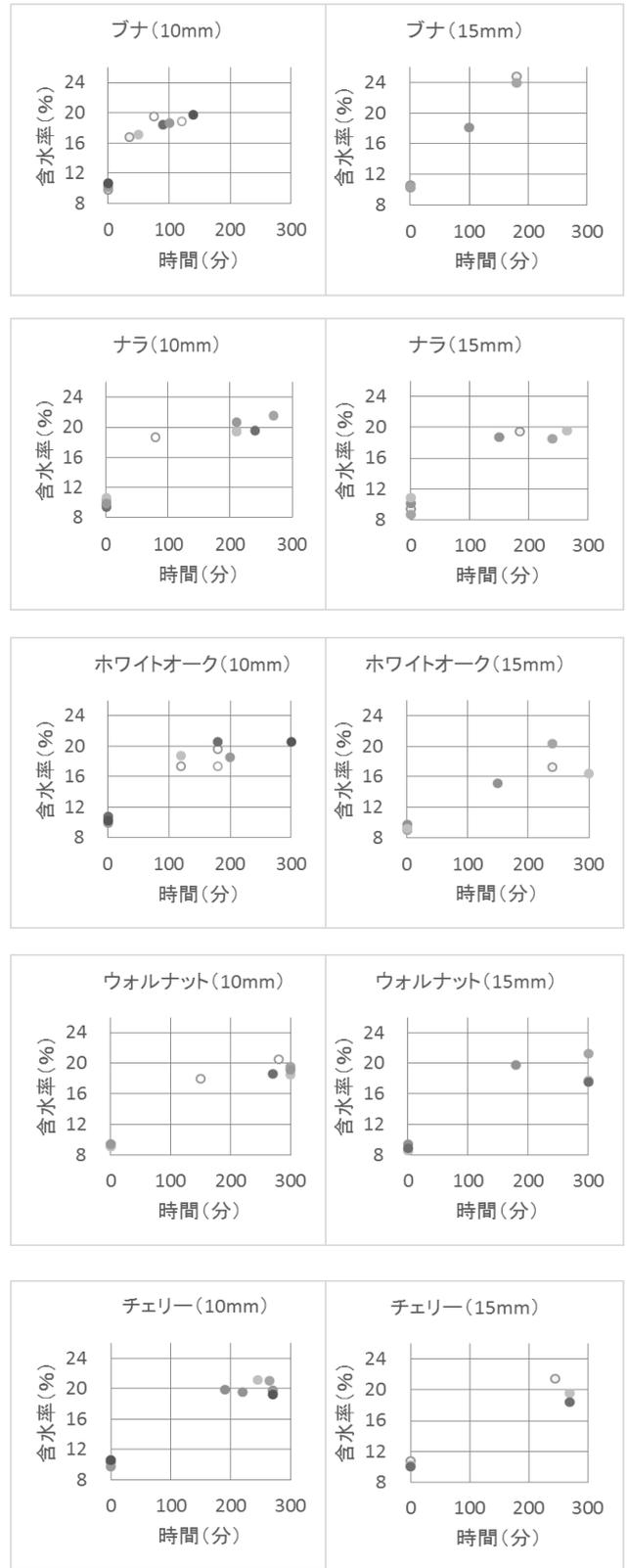


図5 各樹種の厚さ別の試験体の吸湿挙動  
曲げる前処理である蒸し工程の前後に  
おける重量変化を含水率として示す

に蒸し時間と到達する含水率の関係を示した。その結果、寸法が大きい材のほうが吸湿にはやや時間がかかるが、樹種別の傾向として、ブナ、ミズナラ、ホワイトオーク、チェリー、ウォルナットの順に吸湿時間が長くなる傾向にある。したがって、曲げ工程の前処理で、樹種ごとに最適な蒸し時間の調整が必須である。

#### 4. まとめ

曲げ木の「割れ・しわ」といった不良発生による不良率を低減するために、また、増加する利用樹種に対応するために、曲げ木の条件設定を簡易に行える指標の作成が必要である。本報告では、樹種別に曲げ半径・材厚さ・含水率などに関して、最適な組合せを導く手法を検討した。

検討対象の樹種はブナ、ミズナラ、ホワイトオーク、ウォルナット、チェリーである。それぞれにおいて、曲げ半径60mmおよび150mmの型に合わせて曲げ試験を行い、どの程度まで破壊等の不良なく、良好な曲げ変形が可能かを測定した。得られたたわみから許容できる曲げ半径を算出し、含水率と密度の観点から考察を行った。全体に、低密度材は曲げが困難となる傾向が認められた。

ブナは良好な曲げ加工を行える。ミズナラは高密度材では良好だが、低密度材では多くの水分が必要な傾向がみられた。ホワイトオークは高密度材でも水分を多くする必要があるがみられた。ウォルナットは蒸すだけでは吸湿に長時間を要するため、前処理として水に浸けておくことが有効である結果が得られた。チェリーは飽水状態という水分が最大量の場合でも、大きめの曲げ半径までしか曲がらない結果であった。

樹種特性に合わせた曲げ形状とすることが重要であり、良好な曲げ加工のために必要な水分量も異なり、密度の影響も各樹種内で顕著であった。

#### 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実施しましたことをここに記し感謝の意を表します。

#### 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、岐阜県生活技術研究所研究報告、No. 17、 pp. 36-42、2015.
- 2) 田中重盛、南方材の曲げ加工に関する研究(第1報)、岐阜県工芸試験場業務報告、pp. 18-22、1975.
- 3) 田中重盛、南方材の曲げ加工に関する研究(第2報)、岐阜県工芸試験場業務報告、pp. 16-21、1976.

# 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 天板の傾斜が計算作業に与える影響

山口穂高<sup>\*1</sup>，藤巻吾朗<sup>\*1</sup>，宮川成門<sup>\*1</sup>，小澤瑞輝<sup>\*2</sup>，吉田宏昭<sup>\*3</sup>

## Design Guide for Children's Desks and Chairs Effect of Tilted Desktop for Calculation Task

Hodaka YAMAGUCHI<sup>\*1</sup>，Goro FUJIMAKI<sup>\*1</sup>，Naruto MIYAGAWA<sup>\*1</sup>，  
Mizuki OZAWA<sup>\*2</sup>，Hiroaki YOSHIDA<sup>\*3</sup>

天板の傾斜が計算作業に与える影響を調査するために、天板の傾斜を0°、10°、20°と変化させた机で被験者に計算作業を実施させる実験を行った。

その結果、90秒間の計算作業の回答数が天板に傾斜をつけることで増える傾向があった。筆記動作に関する生理計測項目において天板傾斜の影響は見られなかったが、姿勢に関する生理計測項目では天板傾斜によってより楽に体幹が起きた姿勢を保持できることが示唆された。計算作業後の質問紙による評価では10°条件で作業環境に関する評価が高かった。したがって、天板に傾斜をつけることで、通常のフラットな天板と同程度の作業性そのまま、計算作業の効率や被験者が感じる作業環境、作業姿勢を改善できる可能性が示唆された。

### 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。

本報告では、天板の傾斜が計算作業に与える影響について研究を行ったので報告する。

### 2. 背景と目的

学習家具を設計する際の基本的な課題として、使用者である子どもの身体成長に対応する必要があることが挙げられ、これまでの学習家具の設計においては座面高さもしくは天板高さを段階的に調整して対応することが一般的である。その際、座位姿勢は大腿と体幹が90°に近くなるような直立的な姿勢を想定されることがほとんどである。しかしながら、学習家具のもっとも大切な用途は宿題や受験勉強といった学習を行うことであるこ

とを考慮すると、従来通りの直立的な姿勢が必ずしも適しているとは限らない。例えば、成人のオフィス環境に関する人間工学的研究<sup>1)</sup>においては、直立的な座位姿勢のみでなく、大腿前傾姿勢や体幹後傾姿勢も正しい姿勢として挙げられている（図1）。

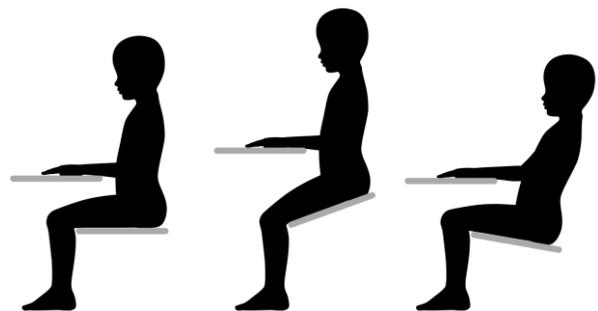


図1 さまざまな正しい姿勢  
左：直立、中：大腿前傾、右：体幹後傾

このように座面に関する検討が行われている一方で、これらの姿勢の天板に着目すると、全てフラットとなっている。子どもの学習を想定した場合の作業内容は筆記や読書が主であることを考慮すると、天板を傾斜させた姿勢（図2）が天板上の

\*1 試験研究部

\*2 信州大学大学院 理工学系研究科

\*3 信州大学 繊維学部 感性工学課程

視認性や脊柱の負担などに関して良い影響をもたらす可能性があり、学習に対するやる気につながるのではないかと期待される。事務作業に関して天板傾斜の影響を検討した先行研究<sup>2)</sup>においては、天板傾斜によって姿勢を保持する頸椎筋群の活動を抑えることができたとしている。このような効果は学習作業においても期待できるが、学習作業に着目して天板傾斜の影響について調査した研究は見られない。そのため本研究では、天板の傾斜が計算作業に与える影響を調査した。



図2 天板が傾斜した姿勢の例

### 3. 方法

天板の傾斜角を調節可能な机を試作し、傾斜を $0^\circ$ （フラットな天板）、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ と変化させた際の計算作業の結果と作業中の生理心理反応を計測する実験を行った。計測の項目は90秒間の一桁足し算の成績、右手の筋電図（浅指屈筋、総指伸筋、僧帽筋）、右手首の加速度、重心位置、作業後の使用感および気分の調査であった。実験は信州大学繊維学部の右手利きの学生16名（男性8名：女性8名）を対象とした。実験は、初めに天板の傾斜 $0^\circ$ のフラットな状態での計算作業（以下：練習課題）を実施させた後に、天板傾斜の3条件（ $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $20^\circ$ ）をランダムに提示してそれぞれの条件において計算作業を実施させた。表1には計測項目の詳細を、図3には実験の様子をそれぞれ示す。

表1 計測の詳細

計測項目名	計測	サンプリング	計測機器など
作業成績	作業中	-	90秒間の一桁足し算（筆記式）
筋電図	作業中	1000 Hz	BIOPAC 製 MP150
加速度	作業中	100 Hz	MicroStone 製 MVP-RF8
重心位置	作業中	1 Hz	N-WAVE 製 Cagr-4motion
使用感調査	作業後	-	SD 法 オリジナル様式
気分調査	作業後	-	POMS2 成人用短縮版

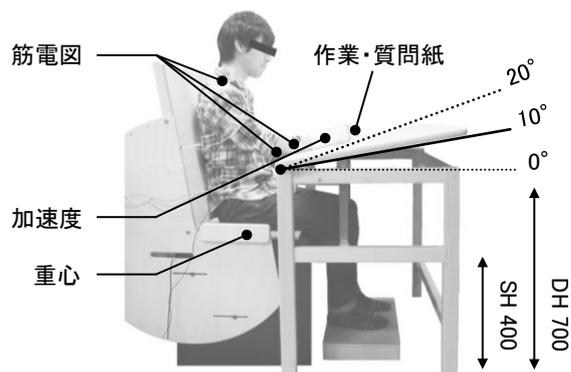


図3 実験風景

SH: 座面高さ [mm]、DH: 天板前縁の高さ [mm]

結果を解析する際は、天板傾斜がそれぞれの測定値に与える影響を確認するために、一元配置分散分析（1水準：天板傾斜、3条件： $0^\circ$ ・ $10^\circ$ ・ $20^\circ$ ）を実施した。多重比較にはBonferroni法を用いた。

## 4. 結果

### 4.1 作業成績の結果

計算作業は練習課題を含めて被験者1名あたり合計4回実施したが、練習課題での回答数はそれ以外に比べて有意に少ないという順序効果が見られた。しかし、天板傾斜の3条件をランダムに提示した3回分の回答数には順序効果が見られなかった。一方、被験者によって回答数の違いが大きかったため、作業成績はそれぞれの傾斜ごとの総回答数を練習課題時の総回答数で基準化した%割合を被験者ごとに算出した。図4は作業成績の結果を示す。統計的に天板傾斜の主効果は見られなかったが、天板の傾斜が増えるにつれて回答数も多くなる傾向が見られた。 $0^\circ$ 条件とくらべると、 $20^\circ$ 条件では約5ポイント練習課題に比した回答数が多かった。このことから天板を $20^\circ$ 傾斜させることで計算作業の回答数が向上する可能性が示唆された。

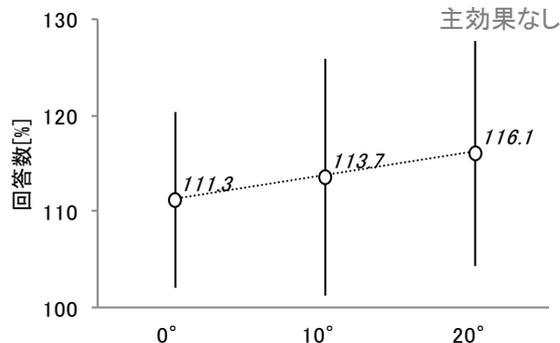


図4 練習課題を基準とした回答数

#### 4.2 生理計測項目の結果

生理計測項目のうち、筋電図（浅指屈筋、総指伸筋：指を動かす筋肉）および手首の加速度は筆記動作に関する計測項目と考えることができる。今回の実験の結果、これらの筆記動作に関する計測項目に天板傾斜の影響は見られず、天板の傾斜が筆記動作に良い影響を与えるという可能性は認められなかった。また、天板を傾斜させることで、筆記動作が困難になるといった悪い影響を与える可能性も認められなかった。

一方、筋電図（僧帽筋：首の姿勢を支える筋肉）および重心位置は姿勢に関する計測項目と考えることができる。ここでは、僧帽筋の活動は少ないほど首の姿勢を保持する筋活動が少なく楽に姿勢を保持できている状態であると仮定する。図5に僧帽筋の筋電図の結果を示す。統計的に天板傾斜の主効果は見られなかったが、天板の傾斜が増えるにつれて、僧帽筋の活動はわずかに抑制される傾向があった。また、図6は重心の前後方向の位置を示した結果である。10°条件および20°条件では0°条件に比べて統計的有意に重心位置が後ろであった。以上より、天板を傾斜させることで重心の後方移動および首の筋活動の抑制につながっており、より楽に体幹の起きた姿勢を保持できていることが示唆される。

#### 4.3 心理計測項目の結果

図7に使用感を調査した質問紙によって得られた評点の平均値を示す。この結果から、見やすさについて、10°条件が0°条件に比べて有意に高い評価を得た。そのほかの項目に有意差はなかったが、作業環境に関する項目（書きやすい、見やすい、快）で10°条件が高評価を得る傾向があった。したがって、天板の傾斜を10°つけることで、作業環境が見やすく快な状態になることが示唆された。また、課題の難易度と疲労感に関する質問に天板傾斜の差がなかったことから、天板を傾斜させることで課題がやりにくくなることや、疲労感が大きくなることはないことが確認された。天板の傾斜は学習に対するやる気の良い影響を与えることを期待していたが、作業の意欲に関する「満足」や「次は上がると思う」といった項目に天板傾斜の影響が見られなかった。

また、図8は気分調査として実施したPOMS2成人用短縮版の結果である。この結果、10°条件で20°条件より活気が高い結果となった。相対的には10°で作業後の気分がやや良い結果となった。

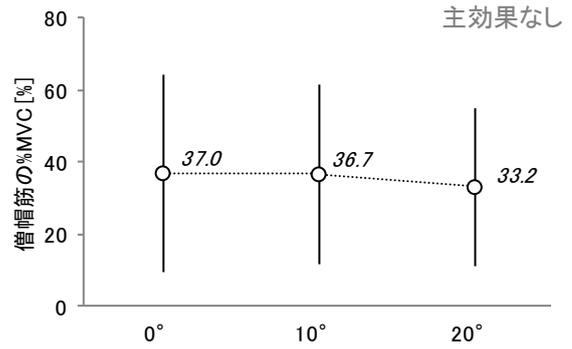


図5 僧帽筋の筋活動  
条件ごとに筋肉の活動の指標であるRMS値を算出し、最大筋力発揮時のRMS値で基準化した%MVCを示す。値が小さいほど筋肉の活動が小さいことを示す。

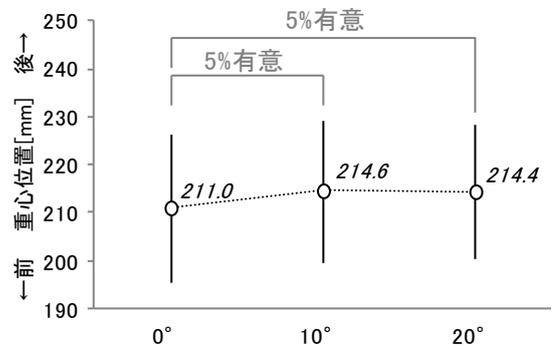


図6 前後方向の重心位置  
90秒間の重心位置の平均を算出した。値が大きいほど重心が座面後寄りであることを示す。

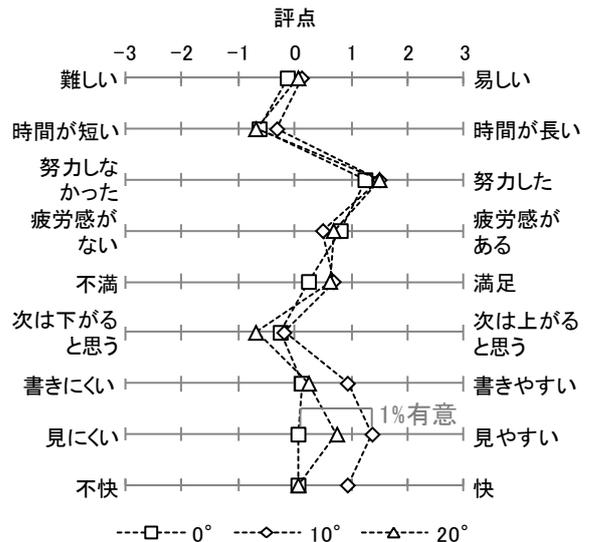


図7 使用感調査の結果  
評点の絶対値において、3：「非常に」、2：「かなり」、1：「やや」、0：「どちらでもない」に対応する。

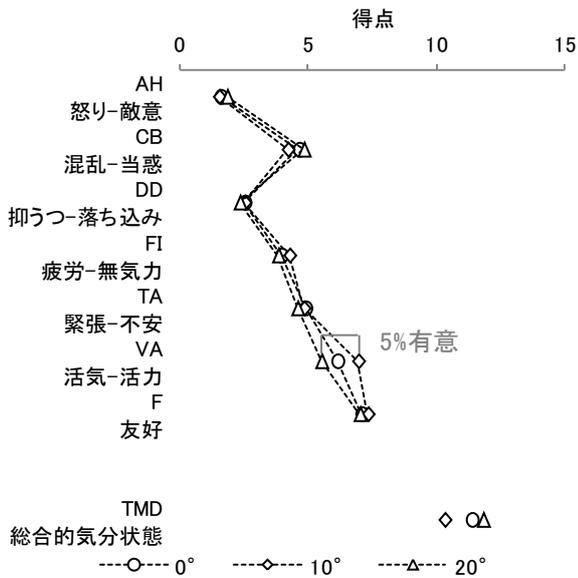


図8 気分調査の結果

得点が高いほど各項目の気分が強かったことを示す。  
TMDは得点が高いほど気分が悪い状態を示す。

#### 4.4 姿勢の結果

図9に計算作業中の被験者の写真を示す。これより、天板傾斜によって外見上の姿勢が変わる被験者と変わらない被験者が確認された。これらは計算作業の位置を天板上で固定したことと書き方の個人差があったことが原因であったためだと考えられる。また、天板傾斜の影響は差尺によっても変化することが予想される。今後は自然な作業姿勢に着目した上で、差尺と天板傾斜の組み合わせの検討および許容範囲の検討を行う必要がある。



図9 天板傾斜0° と20° における姿勢の変化  
(上段：姿勢変化の大きい被験者  
下段：姿勢変化の小さい被験者)

## 5. まとめ

本報告では天板の傾斜が学習作業に与える影響の調査を行った。表2に実験結果の概要を示す。この結果より、天板に緩い傾斜(10°)をつけることで被験者が感じる作業環境は良くなり、急な傾斜(20°)をつけることで多くの計算作業をこなすことができることが示唆された。また、生理計測の結果から、天板に傾斜をつけることによる筆記動作への影響は確認されなかったが、天板に傾斜をつけることでより楽に体幹の起きた姿勢を保持できることが示唆された。したがって、天板に傾斜をつけることで、通常のフラットな天板と同程度の作業性のもと、計算作業の効率や被験者が感じる作業環境、作業姿勢を改善できる可能性があると考えられる。

表2 実験結果の概要

計測項目名	結果の概要
作業成績	傾斜がつくごとに回答数が増す傾向
筋電図	総指伸筋・浅指屈筋：差は見られなかった 僧帽筋：傾斜がつくほど活動が抑制される傾向
加速度	差は見られなかった
重心位置	10° と 20° で重心が後寄りへ移動
使用感調査	作業環境に関する項目で 10° が良好
気分調査	10° でやや気分が良かった

## 謝辞

本報告内の実験は信州大学繊維学部の学生の皆様に実験者および被験者としてご協力いただきました。ここに感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 八木佳子、特集①：分野別人間工学の現状と将来 (3) オフィス分野における人間工学研究の現状と将来一、人間工学、Vol. 50、No. 2、PP. 71-77、2014.
- 2) 高橋卓也他、多様な事務作業に適した連動二段机の開発、人間工学、Vol. 46、No. 2、pp. 136-143、2010.

# 樹脂エマルジョンによる木材の撥水処理研究（第1報） 加圧含浸による撥水処理効果

横山久範

## Study of Water Repellent Treatment of Wood by Polymer Emulsion (1) Effect of Water Repellent Treatment by Pressurization

Hisanori YOKOYAMA

木材は吸水性を有するため、汚れる、腐るなどの課題があり、屋外での利用は制限されてきた。そこで、木材に撥水系のエマルジョンを含浸・複合化させることで撥水性を有する木材の開発を目的とした。木材としてブナ、ヒノキ、ナラの3種類に加圧含浸と常圧含浸による影響を検討した。ブナでは加圧含浸が有効であり、木材内部までエマルジョンが浸透して撥水性を有することがわかった。ヒノキの場合は、加圧含浸で含浸量を増加させることはできたが、撥水性としては木口面から7mm程度までとなり、内部まで撥水エマルジョンを浸透させることはできなかった。

### 1. 緒言

平成22年に「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、公共建築への木材利用が拡大している。特に、2020年に東京オリンピックの開催による各種施設の木造化や木質化が推進され、建物以外のエクステリアウッドの需要も高まっている。しかし、木材は吸湿・吸水にともなう変形や腐れの発生、紫外線による退色などのため、耐久性と耐候性を確保しつつ木の持つぬくもりを生かした素材開発が必要である。従来、耐久性や耐候性を向上させる主な手法は表面塗装・表面処理、防腐剤等の含浸、プラスチックとの複合化、化学修飾などが上げられる<sup>1-5)</sup>。この内、木調を生かした防汚・防水方法として、シリコンやアクリルなどのエマルジョン系撥水剤を表面に塗布する方法<sup>6,7)</sup>があるが、使用時の傷や摩耗によって撥水効果が低下するという課題がある。

一方、木材は導管や仮導管などの組織を持つ天然の多孔質材料であるため、防腐剤等の液体の含浸だけでなく、様々な粒子との複合化が可能と思われる。昨年度は無機顔料である蓄光顔料を導管部に複合した木材の研究を行った。そこで、今回水中粒子であるエマルジョンを木材と複合化させ、木調を損なうことなく、内部まで撥水性を有する木材も開発を目的とした。一般に木材に防腐剤や樹脂を注入する方法としては、減圧含浸法、加圧含浸法、超音波含浸法があるが、主に加圧含浸法

で行われている。そこで、加圧含浸工程でエマルジョンを同時に含浸できないかを検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 原材料

木材には、針葉樹のヒノキ、広葉樹散孔材のブナ、広葉樹環孔材のナラを選定し、50×100×10mmの板状試料を用いた。撥水剤としてはウレタン系撥水剤：XA-6400（トーケン化学製）、ワックス系エマルジョン：ノプロ1245-M-SN（サンノプロ製）を用いた。

#### 2.2 加圧含浸処理

撥水剤水溶液として、2種類の4mass%溶液を調整し、表面張力を低下させるためSNウエット366（サンノプロ製）を、含浸度合を観察するためシアンインクを添加した。あらかじめ木材は乾燥、減圧中1時間放置した試料を用い、各撥水剤に浸漬させて処理を施した。通常に加圧含浸は0.5～1.5MPaで行われているが、今回は加圧容器（最大加圧：0.5MPa）の耐圧性のため、0.35MPa・10時間の処理を行った。また、常圧中で24時間水溶液に浸漬させた場合と、表面に希釈しない撥水剤を塗布した場合を検討し、比較を行った。実験条件を表1に示す。

表 1 処理剤及び処理条件

実験No.	処理剤	濃度	処理条件	
U-1	XA-6040	4%	加圧含浸	10時間
U-2	XA-6040	4%	常圧含浸	24時間
U-3	XA-6040	100%	表面塗布	
W-1	1245-M-SN	4%	常圧含浸	24時間

### 2.3 評価方法

処理した木材を自然乾燥後、105℃で1時間の乾燥を行った。水中での吸水性を調べるため、撥水処理及び無処理の木材を水中に浸し、各時間での重量増加を測定した。

撥水剤がどの程度の深さまで含浸しているかを調べるため、処理木材を図1のように加工し、サイズと重量からかさ密度を求め、加工面の接触角を接触角計(DMs-200:協和界面科学)により測定した。合わせて加工面の色を観察した。

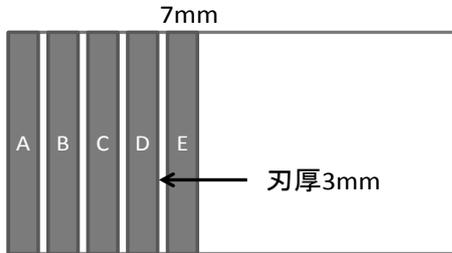


図1 処理後の木材の加工方法

## 3. 実験結果及び考察

### 3.1 含浸特性

表2に含浸試験後の各木材の含浸率を示す。また、気孔率から計算した最大含浸率により含浸後の含浸割合を評価した。U-1とU-2を比較するといずれの木材も加圧含浸を行ったU-1の方が含浸率は高くなった。特に、ヒノキの場合、加圧含浸することで含浸率が3倍増加しており、加圧により処理液が内部まで浸透していることがわかる。一方、ブナでは含浸率/最大含浸率から常圧含浸(U-2、W-1)においてもある程度の吸水が大きくなったが、ナラはいずれの条件でもその割合が低く含浸しにくいことがわかった。

表2 各種木材の含浸特性

		含浸後の含浸率(%)	最大含浸率(%)	含浸率/最大含浸率
U-1	ブナ	97.07	112.2	0.86
	ヒノキ	157.17	211.3	0.74
	ナラ	47.67	91.9	0.52
U-2	ブナ	54.87	112.7	0.49
	ヒノキ	47.37	214.5	0.22
	ナラ	20.37	95.2	0.21
W-1	ブナ	57.46	104.9	0.54
	ヒノキ	37.08	205.6	0.18
	ナラ	19.67	97.1	0.20

### 3.2 処理木材特性

処理木材及び未処理木材を水中に沈め、木材の重量変化により吸水特性を評価した。図2に各木材・処理方法による吸水率の変化を示す。ブナ及びヒノキの未処理木材は吸水が速いのに対し、処理木材はいずれも吸水を抑制でき、処理剤ではワックス系処理剤の方がわずかに吸水抑制が高くなった。ウレタン系処理剤で加圧含浸、常圧含浸、表面塗布を比べるとブナ、ヒノキでは吸水速度にあまり顕著な変化は少なく、ナラの場合は表面塗布した木材が最も吸水速度が遅くなっている。表面塗布の場合、処理剤を希釈することなく定着させているため、表面部分での撥水効果が大きくなって吸水を遅らせることができたと考えられる。

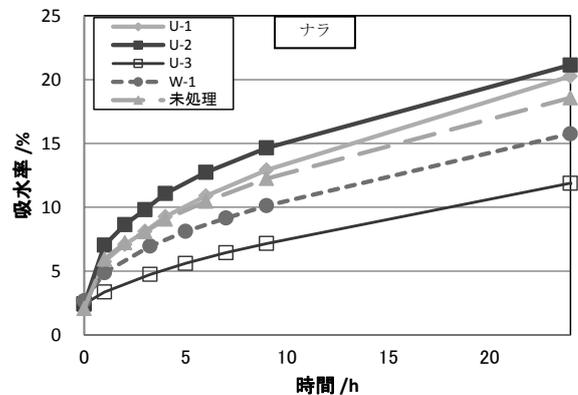
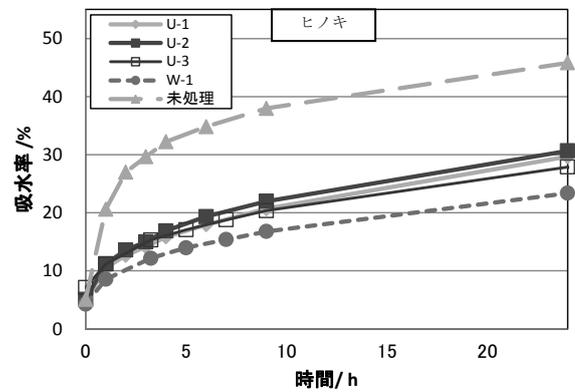
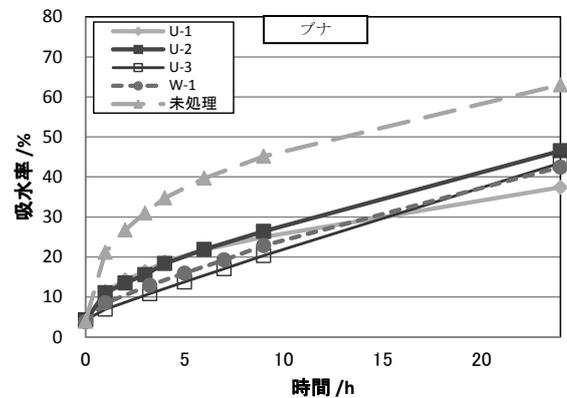


図2 処理後の木材の吸水試験

処理材を 7mm 厚に加工した試験片のかさ密度を図 3 に示す。ブナ、ヒノキの場合 W-1、U-1、U-2 の順に密度が高くなり、W-1 では内部の方ほどわずかに密度が低下した。U 系処理の場合では木口面の A 部を除くと同程度の密度またはわずかに低下している。ここで U-1 の A 部の密度が低下した理由として、処理により木材端面の欠けなどの変形があったためと思われる。ナラの場合、U-1 の密度が最も高くなり、U-1、U-2 では内部ほど密度が増加する傾向があるのに対し、W-1 は低下する傾向が認められた。

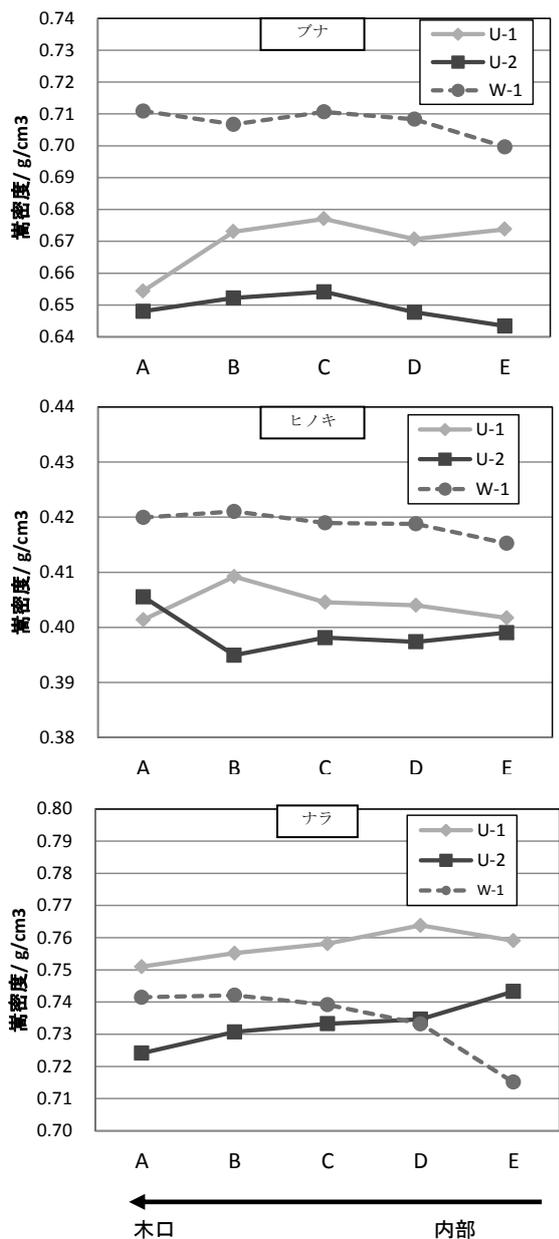


図 3 処理・加工後の木材のかさ密度

図 4 に試験片の木口部の接触角と木口面から距離の関係を示す。ブナでは加圧含浸 (U-1) の接触角が 120° 程度で安定しており、撥水剤が内部まで浸透して固定化されていることがわかる。目視においても含浸時に導入したシアン顔料で木材が染まっていることからその現象が確認された。一方、常圧含浸においては、距離が大きくなるほど接触角は減少し、その傾向は U-2 の方が大きかった。しかし、距離 7mm では多少の撥水性が認められるがそれ以上の距離では吸水性があり、シアン顔料にも染まっていないことから、撥水剤等が

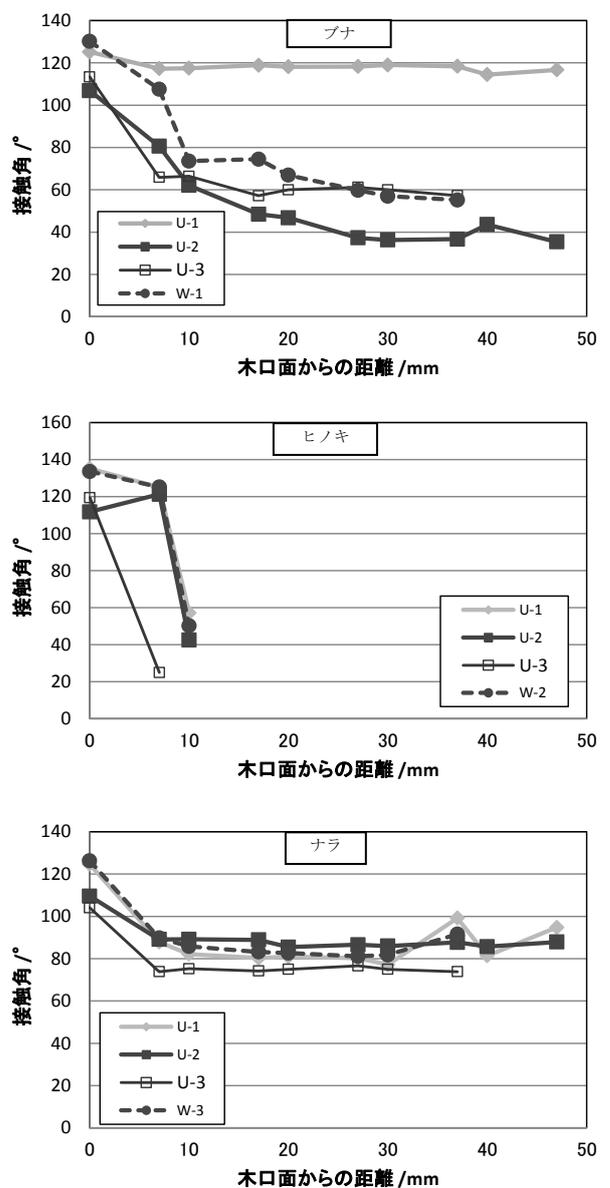


図 4 処理・加工後の木材の接触角

内部まで浸透できていないと考えられる。ヒノキでは表面（距離 0mm）及び距離 7mm では接触角が高く撥水効果が認められるものの、10mm 以上では急激に吸水性が高くなって接触角測定が困難であった。試験片の色も 7mm 程度までは染まっているが、それ以上では内部まで染まってなく、加圧含浸・常圧含浸での差はあまり認められなかった。ナラの場合も表面（距離 0mm）の接触角は高く、それ以上の距離では 80~90° の接触角となった。ナラは元々の密度が高いため導管以外の組織が緻密であり、そのため接触角が高くなったと考える。

今回の実験ではブナの場合は加圧含浸することで内部まで撥水剤の含浸が可能であったが、ヒノキやナラでは内部の撥水効果が少なく、処理剤が内部まで浸透していないことが分かった。特に、ヒノキの場合加圧含浸することで含浸量が多くなりより深くまで処理剤が浸透していると考えられたが、接触角等の結果からは常圧含浸との差が認められなかった。この原因として、今回の加圧含浸の圧力が現状の加圧含浸の圧力である 0.5~1.5MPa<sup>1,4)</sup>に比べて低いことや、仮導管部にある壁孔が狭くエマルジョンがそこで濾過されて水分のみが内部に浸透された可能性が考えられる。また、酸性染料の木材浸透を行った報告では、染料の浸透性は染料と木材の親和性に影響されると考察されている<sup>8)</sup>。こうした原因により、針葉樹や環孔材広葉樹では撥水特性の効果がなかったのではないかと考える。針葉樹の薬液処理においては前処理としての改質処理が有効<sup>4)</sup>であり、粒子含浸においてもそうした前処理が必要と思われる。

## まとめ

3種類の木材へのエマルジョンの含浸試験を行った結果、ブナに加圧含浸した場合のみ木材内部までエマルジョンの含浸が可能であった。ヒノキの場合は加圧含浸による含浸量が増えたのにも係らず、撥水剤の内部浸透が認められず、含浸条件や前処理など別の方法を検討する必要がある。ナラについては元々吸水性が少なく、今回の試験では撥水剤の効果が認められなかった。

## 参考文献

- 1) “木材の劣化と防止法”井上嘉幸著、森北出版、1972.
- 2) “木材科学講座 12 保存・耐久性”、屋我嗣良・河内進策・今村祐嗣編、海青社、1997.
- 3) 蒔田章、木材保存、vol. 42-3、pp. 138-144、2016.
- 4) 西沢美代子 他、愛知県産業技術研究所研究報告書、2011.
- 5) 中野隆人 他、林産試月報、1980年1月.
- 6) 李哲鋒、“撥水处理材の水分特性と木質壁への利用”、東京農業大学大学院博士論文、2013.
- 7) 特開平7-156111
- 8) 基太村洋子、林試研報、Bull. for. & For. Prod. Res. Inst.、No. 319、1982.

# 樹脂エマルジョンによる木材の撥水処理研究（第2報） 木口面からの撥水処理の効果

横山久範

## Study of Water Repellent Treatment of Wood by Polymer Emulsion (2) Effect of Water Repellent Treatment from Cross Section

Hisanori YOKOYAMA

家具のエクステリア利用を促進させるため、路面などとの損傷が大きい木口面に撥水系エマルジョンを含浸・複合化させることで撥水特性の向上を検討した。木材には家具への利用が拡大しているレッドオークを用い、減圧・超音波含浸処理により各種エマルジョンの効果を検討した。その結果、ウレタン系撥水剤は導管部への含浸が大きく、9~12mmの深さまで吸水性を抑制できた。また、ワックス系エマルジョンでは内部深くまで含浸が可能であり、撥水効果も高くなることが確認された。

### 1. 緒言

木材をエクステリア家具として利用する際、塗装を施しても路面等との摩擦による脚部底面（木口面）からの吸水が課題となっている。導管の大きな広葉樹の場合、塗膜の損傷により内部まで吸水が進行し、カビ等による汚れや腐れが発生することが想定される。

そこで脚部にあたる木材の木口面のみからエマルジョンを含浸させ、その浸透状態や撥水効果を検討した。含浸方法として、樹脂含浸処理に利用されている超音波含浸法<sup>1,2)</sup>を用い、水中粒子であるエマルジョンをより均一かつ内部に浸透させることを目的とした。超音波振動を加えることで従来の減圧含浸に比べて樹脂を10%程度増加させることが報告されており<sup>1)</sup>、本実験では超音波振動と減圧含浸を併用し、含浸率の向上を目指した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 原材料

現在家具への利用が拡大している木材のレッドオークを選定し、15×15×150mmの棒状試料を用いた。撥水剤としては前報で使用したウレタン系撥水剤、ワックス系エマルジョンに加え、シリコン系撥水剤（日本マテリアイド：ウッドエイドライト）、ステアリン酸系エマルジョン（中京油脂製：セロゾール920）を用いた。

#### 2.2 含浸処理

撥水剤水溶液として、10~50mass%溶液を調整し、含浸度合を観察するため赤系染料を添加した。図1に示すように容器に各水溶液を取り、木材を浸漬させて、木口面からの含浸を行った。その際、木材は前処理を行わず、次の4通りの方法を繰り返し、重量変化を調べた。

- (1) 5分真空引+25分減圧中放置
- (2) 5分超音波処理+25分常圧中放置
- (3) 5分超音波処理+5分真空引+20分減圧中置
- (4) 常圧中放置

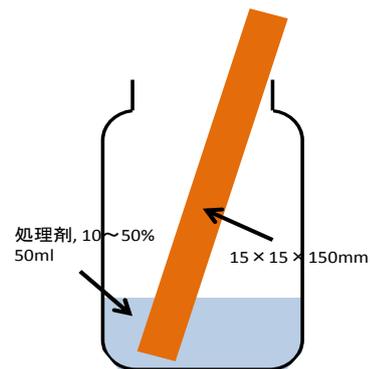


図1 含浸処理方法

#### 2.3 評価方法

処理した木材を自然乾燥後、60℃で3時間の乾燥を行った。撥水剤がどの程度の深さまで含浸しているかを調べるため、処理木材を図2のように加工し、サイズと重量からかさ密度を求め、加工面の接触角を接触角計(DMs-200:協和界面科学製)

による測定した。合わせて加工面を実態顕微鏡 (VHX-100: キーエンス製) により観察した。

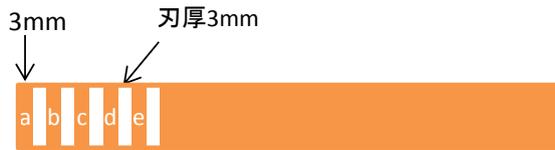


図2 処理後の木材の加工方法

### 3. 実験結果及び考察

#### 3.1 含浸特性

図3にウレタン撥水剤20%での処理時間による木材の重量変化を示す。図3(a)では処理条件(3)>(1)>(2)>(4)の順に重量増加が大きくなることを示された。超音波含浸のみの条件(2)では短時間で重量増加するがその後は増加量が小さくなり、吸水しにくくなった。一方、真空引きを行うこと(条件(1))で増加重量が大きくなり、さらに超音波処理と組み合わせること(条件(3))でその傾向が強くなった。このことから、真空引きによる減圧処理にだけでなく、超音波処理の組み合わせが粒子含浸処理に有効であることが確認された。これは、吸引によって孔部に固定されたエマルジョン粒子が超音波処理で再分散し、その結果吸引力が高まったためではないかと考える。今回、装置の関係で超音波と減圧処理を同時に行うことができなかったが、さらなる処理時間を短縮可能性が示唆された。

図3(b)には、処理条件(3)においてウレタン系撥水剤の濃度を変えた場合の含浸特性を示す。ウレタン系撥水剤では濃度による影響はほとんどなく、ほぼ同様な特性であった。一方、各種処理剤による含浸特性を図3(c)に示す。ウレタン系撥水剤と比較するとワックス系エマルジョン、ステアリン酸エマルジョン、シリコン系撥水剤はいずれも含浸性が高く、ウレタン系撥水剤の1.5~2倍の含浸量となった。ワックス系では、処理剤濃度10%は最も吸水特性が高くなったが、濃度20%では約7割程度に低下しており、濃度の影響が確認させた。おそらくこれらのエマルジョンはウレタン系に比べて粒子径が小さいため木材内部に深く含浸されたと思われる。

#### 3.2 処理木材特性

図4に図2のように切断加工した木片により測定したかさ密度及び24h水中放置した後の吸水率を示す。処理条件の影響(図4(a))では、条件(4)はほとんど密度変化はなく、条件(1)及び(2)では

木口面からの距離が長くなるほどわずかに密度の低下が認められた。一方、条件(3)では木口面からの距離が長くなるほど密度が低下するとともに、吸水率は増加していることが認められ、木口に近いほど撥水剤が浸透して吸水を抑制する効果があることがわかった。また、ウレタン系処理剤の濃度ではいずれの濃度でも木口からの距離が長くなるほど、かさ密度の低下と吸水率の上昇が確認でき(図4(b))、木口面に近いほど含浸量が大きくなった。しかし、その差はわずかであり、20%前後の濃度であれば処理後の吸水を抑制できることが示された。

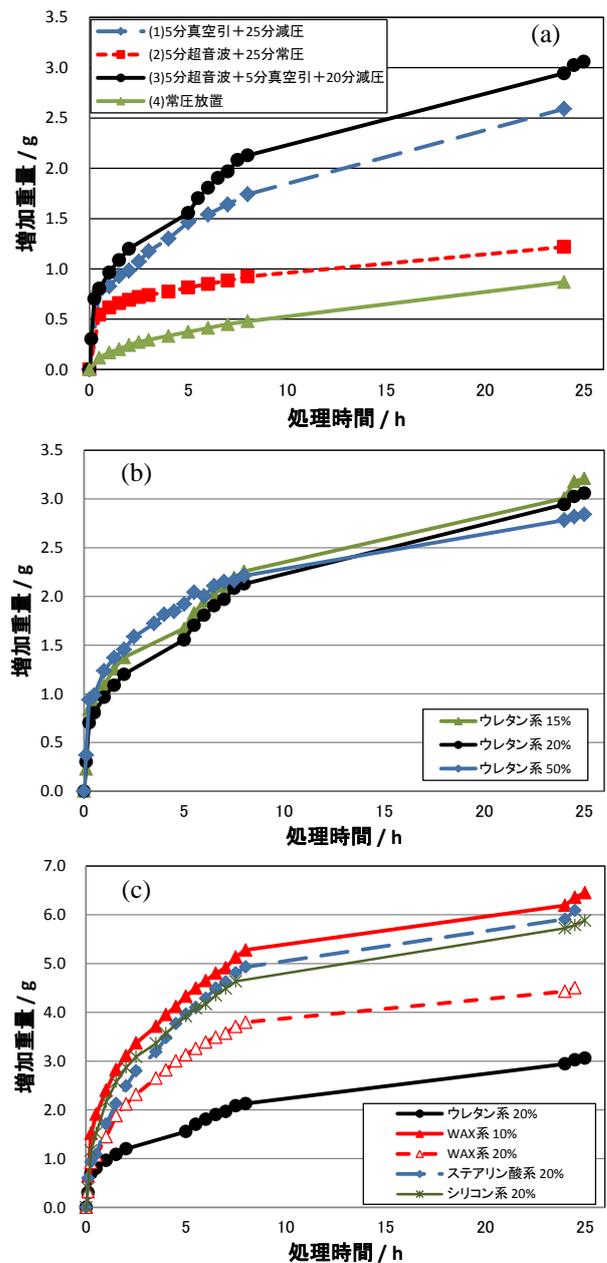


図3 処理時の重量変化

(a)処理方法の影響、(b)濃度の影響、(c)処理剤の影響

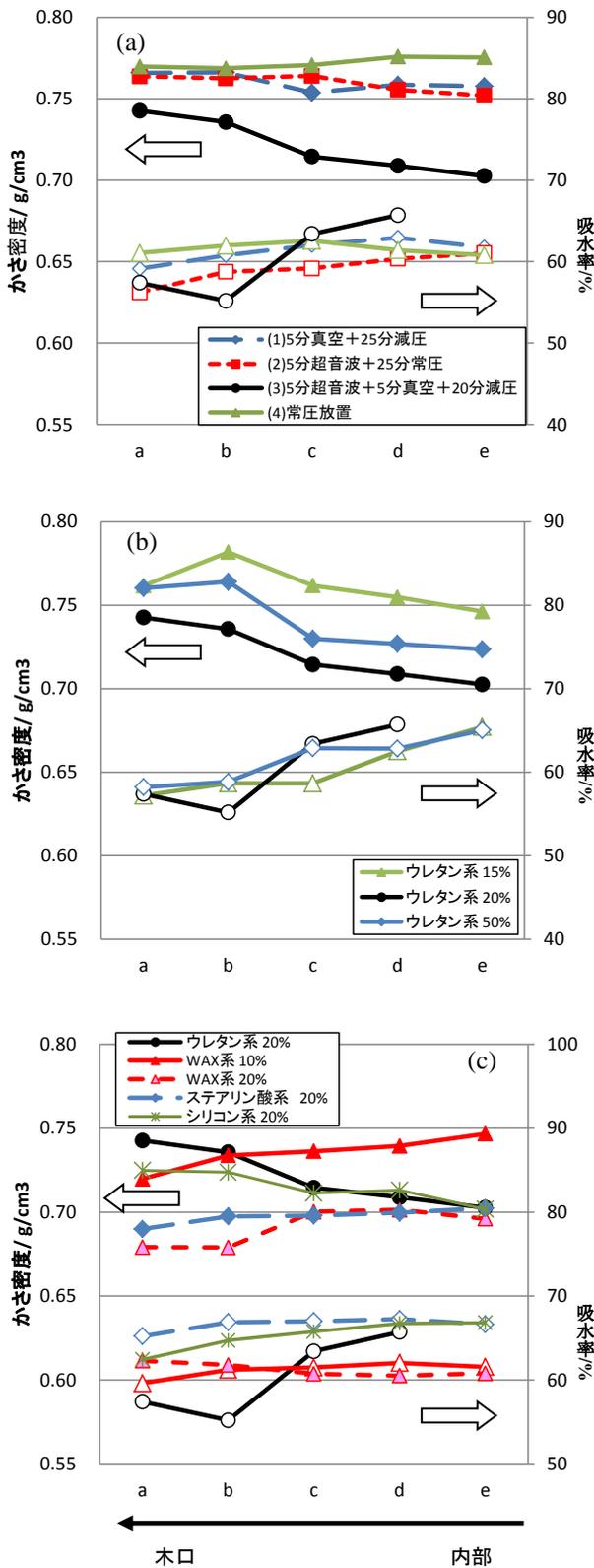


図4 処理・加工後の木材のかさ密度・24h水中放置後の吸水率  
(a)処理方法の影響, (b)濃度の影響, (c)処理剤の影響

処理剤の種類による影響では、ウレタン系、シリコン系が木口からの距離が長くなるほどかさ密度の低下、吸水率の増加傾向となるのに対し、ワックス系やステアリン酸系では距離が長くなるほどかさ密度は増加した (図 4(c))。図 3(c)においてワックス系やステアリン酸系はウレタン系よりも含浸量が大きく、より木材内部に浸透しているとか考えられ、そのことによって木材のかさ密度

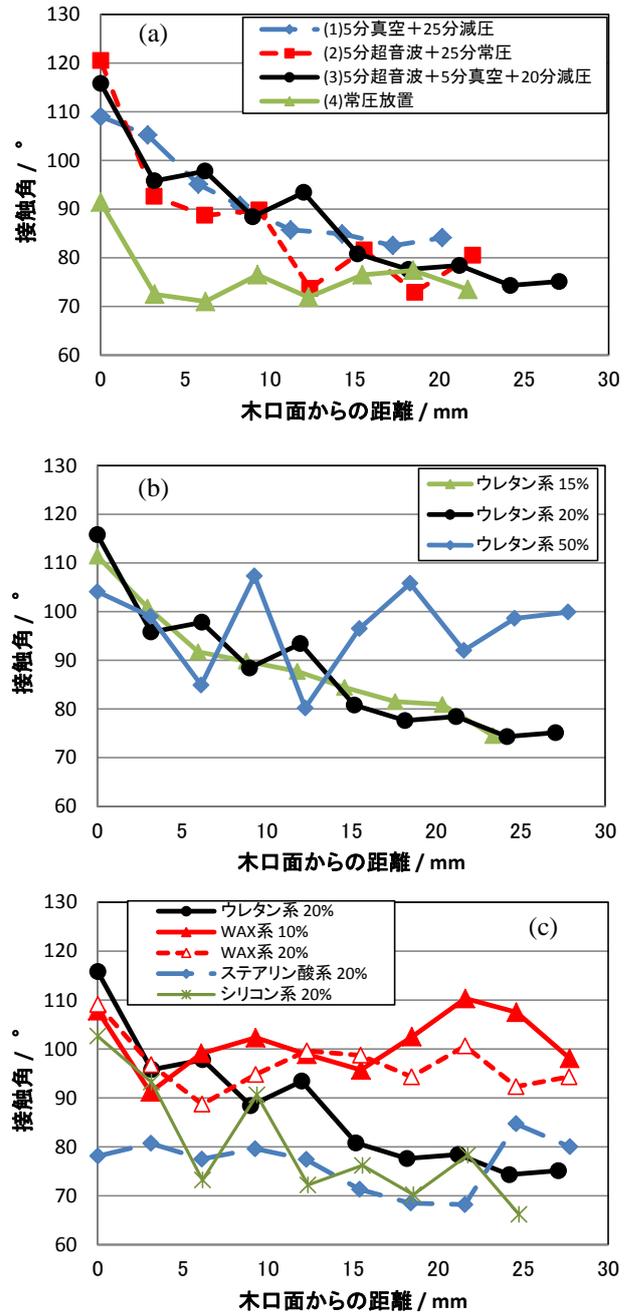


図5 処理・加工後の木材の接触角  
(a)処理方法の影響, (b)濃度の影響, (c)処理剤の影響

が高くなったのではないかと考える。ワックス系の場合、処理後の吸水率は木口からの距離による影響は少なくなったが、他の処理剤に比べて比較的低い値となっており、処理剤による吸水抑制の可能性があるのでないかと考える。

図5に接触角の木口面からの距離の影響を示す。処理条件による影響では、条件(4)は木口表面のみは接触角が高いが、その後は低い値を示し、条件(1)～(3)では木口面からの距離が長くなるほど接触角の低下が認められ、特に条件(3)では接触角が若干高くなった。接触角が $90^\circ$ 以上の距離を調べると9mm～12mmであり、この距離まではウレタン系撥水剤が含浸していると考えられる。濃度による影響では、15%と20%はほぼ同じ傾向を示したが、50%では深い距離でも高い接触角を示す傾向が認められた。

処理剤による影響ではワックス系の場合、木口面に近い距離では一度接触角が低下し、その後距離が長くなると接触角が増加した。図4からワックス系の場合、木口からの距離が長くなるほどかさ密度が増加していることから、処理剤がより内部に含浸して接触角も高くなったのではないかと考える。一方、シリコン系ではウレタン系と同様に距離が長くなるほど接触角は低下し、ステアリン酸系では距離による影響は少なく、低い値を示した。ただし、接触角は木片の加工状態や乾燥状態にかなり影響を受けるため今回の測定でもばらつきが大きく、その評価方法を再検討する必要があると思われる。

図6にウレタン系撥水剤濃度20%、処理条件(3)で行った試料の切断面を実態顕微鏡で観察した結果を示す。木口面からの距離が3mmでは導管部全体に撥水剤によると思われる樹脂が認められるが、距離18mmでは導管部の樹脂が減少していることが観察される。一方、他の処理剤ではシリコン系では一部導管部に樹脂の存在が認められるが、ワックス系やステアリン酸系では導管部に樹脂がほとんど確認されなかった。今回の観察では木材内部の微構造まで確認できていないが、ワックス系処理剤ではエマルジョンの粒子径が小さく、柔組織などの微細な気孔部分にも樹脂スラリーが含浸して木材の多孔質部分の表面に残存した可能性があると考えられる。

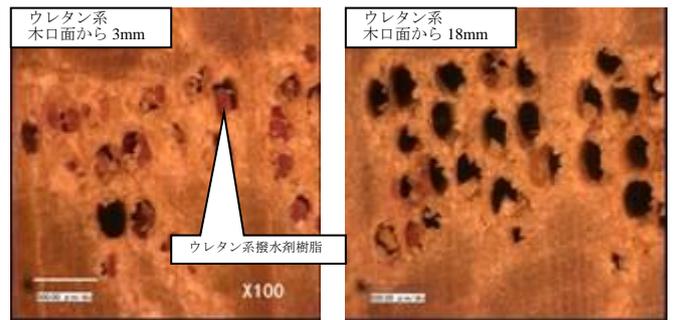


図6 切断面の実態観察像

### まとめ

エクステリアの脚部となる木口面への樹脂エマルジョン含浸を行った結果、超音波と減圧含浸を組み合わせることで含浸量を増やすことができ、超音波の利用が有効であることがわかった。樹脂エマルジョンの種類においては、ウレタン系撥水剤は導管部に樹脂が固定化され、9～12mmの深さまで吸水性を抑制できることが確認された。一方、ワックス系エマルジョンでは含浸量が多く、より深くまで撥水性を確認することができた。

### 参考文献

- 1) “ウッドセラミックス” 岡部敏弘監修、内田老鶴圃、pp.90-91、1995.
- 2) 鶴田郁男、木材保存、vol.11-1、pp.16-24、1985.