

4 家具用材の曲げ木加工技術の開発研究

日田産業工芸試験所 石井 信義 大内 成司
北嶋 俊朗

要 旨

客員研究員の指導のもとに研究者4名（日田市内家具製造業勤務）を対象に当該研究テーマに取り組んだ。

その結果、

- (1) 養成事業を推進したことにより、曲げ木加工技術の習得と研究者の開発能力の向上を計ることができた。
- (2) 日田市内の家具企業で使用されている外国産材8種（カナリード、ゴム、タウン、ホワイトアッシュ、ハックベリー、エルム、レッドオーク、シカモア）の曲げ木加工適性を把握することができた。

○客員研究員 則本 京（京都大学教授、木質科学研究所）

○研究者 権藤 高明、原 好美（青柳木工有限会社）

小関 豊次、佐藤 清（株式会社朝日木工）

1 緒 言

日田地区の家具企業では、現在家具部材として外国産材を90%以上使用している。この部材の利用状況の中で曲線部材を必要とする部分には、直線部材を接合してソファの肘木部や背木部等に加工して利用されているのが現状である。

そこで、今回は直線的加工部材から曲線的加工部材への利用範囲を広げるために、木材の曲げ試験を実施してデータの蓄積と曲げ加工技術の習得を行い、これを通じて研究者の開発能力の向上を目指すことを目的に実施した。

2 実験方法

2. 1 基礎理論研究

2. 1. 1 木材の曲げ加工

木材に外力を加えると歪みを生じる。外力を取り去ると元の形状にもどる性質を弾性といい、歪が残る性質を可塑性という。木材は弾性と可塑性をもつ材料であり、曲げ木はこの可塑性を利用したものである。

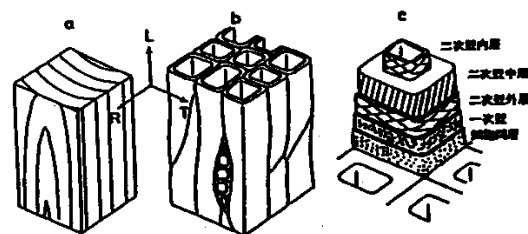
木材の曲げ木方法には、合板上にだぼ当木などで曲線をつけた曲げ木用の簡易治具を使って、曲げる方法から内型治具に帯鉄とクランプで曲げる方法、機械的曲げ木法（押し込み式、ローラー引き寄せ式、レバー式等）やトーネット法等があり、主にソリッド材（無垢材）を曲げる方法である。従来、家具用曲げ木部材の製作には、トーネット法が活用されている。

2. 1. 2 軟化処理

木材の構造は、図-1 bに示すように中空の細長い管（細胞）が集めたものである。その一つの細胞を電子顕微鏡で観察すると、図-1 cのような多数の壁層から構成されており、これらの層の内で二次壁中層が大半を占めている。中層は、鉄筋コンクリートに似た構造をしていて、鉄筋にあたるのはセルロースという直鎖状の結晶した高分子の束（マイクロフィブリル）である。鉄筋と鉄筋の間は、コンクリートにあたる無定形の端掛のある高分子であるリグニンで充填されている。

鉄筋とコンクリートをなじみよくするために、鉄筋の表面に非結晶性の高分子であるヘミセルロースが沈着している。マイクロフィブリルは、結晶しているので温度、水分の影響をほとんど受けないが、リグニンとヘミセルロースは吸湿すると100℃以下で軟らかくなる。

以上のようなことから、木材を蒸煮、煮沸、あるいはマイクロ波照射して、高含水率、高温にすることによって軟化させ、曲げ加工を容易に行うことが可能になる。



a: 肉眼で見える構造、b: 光学顕微鏡で見える構造、c: 電子顕微鏡で見える構造。
L: 縦線方向、R: 放射方向、T: 接線方向。

図-1 木材の組織

2. 1. 3 曲げ木の応力状態とトーネット法

木材に軟化処理を施すと、引張りによる破壊までの最大伸び量は、さほど変化しないが、圧縮による破壊までの最大縮み量は著しく増大する。繊維方向において室温で含水率17%の場合、ひずみ量が引張りで1%程度、圧縮では5%程度になれば破壊し、含水率が33%、温度約100℃の場合、引張りで2%で破壊するのに対し、圧縮では35%を超えても破壊しない。

木材を曲げると図-2 aのように、どうしても外側に引張り応力が働くので、そのまま曲げていくと外側が破壊してしまう。上記の性質を利用して、図-2 bのように木材の両木口を固定してなるべく伸びないようにして帯鉄に引張り応力が、木材に圧縮応力が働くようにする。この曲げ木加工方法をトーネット法という。

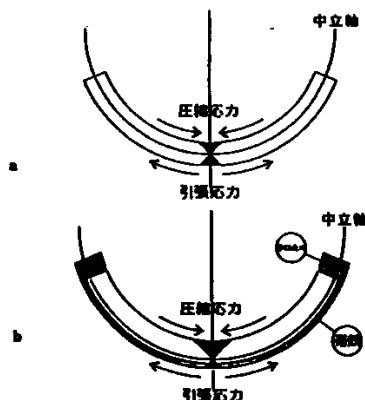
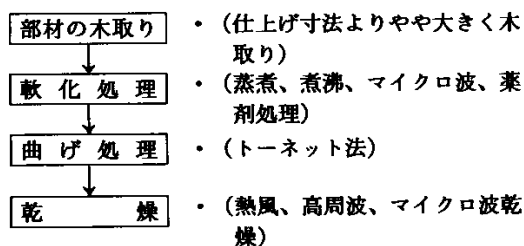


図-2 曲げ木の応力状態とトーネット法

2. 1. 4 曲げ木の手順



2. 2 実験的研究

2. 2. 1 曲げ強度試験

木材の曲げ加工適性（難易の傾向）を把握するために供試材（無処理材）の曲げ強度試験を実施してデータを分析した。

(1) 供試材

供試材は、当該研究者の企業が家具用材として使っている外国産材8種（カナリード、ゴム、タウン、ホワイトアッシュ、ハックベリー、エルム、レッドオーク、シカモア）と国産材1種（ブナ）を使用した。

試験片の寸法は、25×25×350 (mm) とした。

強度試験機は、オートグラフ（駒島津製作所製）を使用した。

表-1 供試材の含水率と気乾比重

項目 供試材名	気乾比重	含水率
カナリード	0.65～0.75	12～15
ゴム	0.65～0.69	12～16
タウン	0.72～0.80	11～14
ホワイトアッシュ	0.65～0.70	12～16
ハックベリー	0.65～0.72	12～14
レッドオーク	0.68～0.73	11～15
エルム	0.62～0.70	11～14
シカモア	0.61～0.78	13～15
ブナ	0.65～0.72	11～15

2. 2. 2 トーネット法による曲げ木加工実験

前項2.1.3で述べたトーネット法によって、曲げ加工適性を把握した。

(1) 供試材

供試材は、前項2.2.1表-1の材料を使用した。試験片の寸法は、10×20×350 (mm) として、1樹種当たり各10本作製した。

(2) 曲率半径

今回の実験では、家具部材として利用する際の家具のデザイン形状から曲率半径は、5段階（50、75、100、150、200(mmR)）とした。また加工部材の実態寸法の算定基準として、曲率半径と材厚から曲げ比率を算出した。

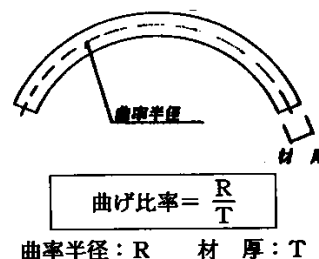


図-3 曲げ比率

(3) 曲げ治具（帯鉄）と内型治具の製作

曲げ治具は、図-4のような形状とした。帯鉄には、錆びにくい材質のステンレス（0.8mm厚）を使用し、両端で試験片の木口が固定できるようにした。把手の部分は、木材（カシ）を使い、操作しやすい形状にした。

内型治具は、それぞれの半径（50、75、100、150、200(mmR)）に製作して、図-5のようにラワン合板上（1,800×900×21(mm)）に取り付けた。また、曲げ加工する時に加工部材の中央が固定できるようにクランプを取り付けた。

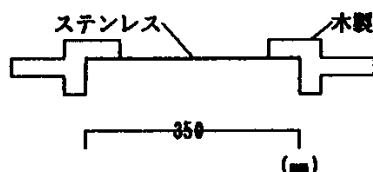


図-4 曲げ治具（帯鉄）

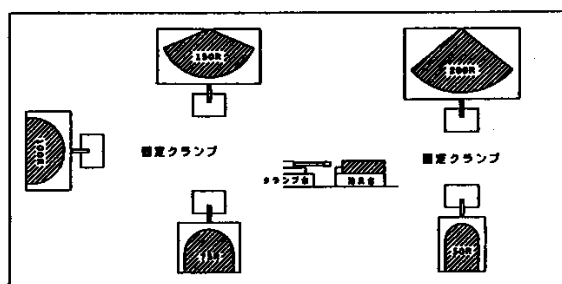


図-5 内型治具

(4) 軟化処理

木材の曲げ加工を容易に行うために、前処理として軟化処理を施した。軟化条件は含水率20%以上、材温90℃以上を目安として実施した。まず、試験片は1時間以上煮沸した後、そのままの状態では18時間浸漬を行い、高含水率になるようにした。

高含水率化した試験片は、所定の寸法（350mm）に切断した後、水分が蒸発しないように塩化ビニル樹脂フィルム（サランラップ）で包装して、マイクロ波照射（照射時間1分）を行った。その時の試験片の温度は100℃以上である。

マイクロ波照射には、家庭用電子レンジ（三菱オープンレンジ、RO-1600、マイクロ波出力500W、発振周波数2450MHz）を使用した。

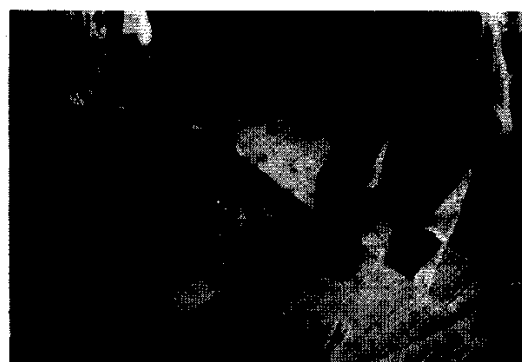


写真-1 試験片のラップ



写真-2 マイクロ波照射装置

(5) 曲げ木加工実験

軟化処理した試験片は、マイクロ波照射後直ちに曲げ治具（帯鉄）に取り付け、内型治具にセットして、中央部をクランプで固定した後、手で中央部から徐々に両サイドに曲げ加工を行った。曲げ木加工の手順として、大きい曲率半径（200→150→100→75→50(R)）から順番に行い、その時の曲げ木の状態（曲げの難易、座屈や剪断破壊の状態等）を判定した。

曲げ木加工した試験片（最小曲率半径50R）は、内型治具に取り付けたままで、熱風乾燥（温度50～60℃で8時間処理）を行って、形状を固定した。熱風乾燥に使用した乾燥機は、パーフェクトオープン（MODERU.PS-23, TABAI MFG, CO. LTD製）である。

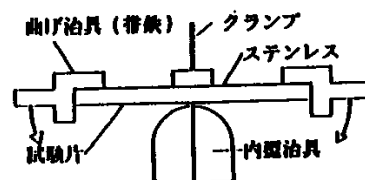


図-6 曲げ加工



写真-3 曲げ加工 (350×20×100)

2.3 開発的研究

開発的研究では、前項2.2の実験的研究を元に実際に曲げ木が家具部材として使用される寸法を想定して実施した。

2.3.1 蒸煮装置の開発

曲げ木加工部材の軟化処理には、蒸煮方法を採用した。これは、当該研究企業が曲げ木加工を実施する場合、現在企業内に木材乾燥のためのボイラー設備があり、その蒸気を利用することによって、設備投資を押さえることが可能と判断したからである。

また、曲げ木部材の最大寸法は、ソファやベッドのフレームとして使用する時の形状から検討して、50×150×1,500 (mm) を想定した。

従って、蒸煮装置の寸法は、上記寸法の供試材が蒸煮処理可能な寸法として決定した。蒸煮装置は三層 (A、B、C) からなっており、Aは蒸煮室、Bは水タンク室、Cは燃焼室 (プロパンガスを使用) である。

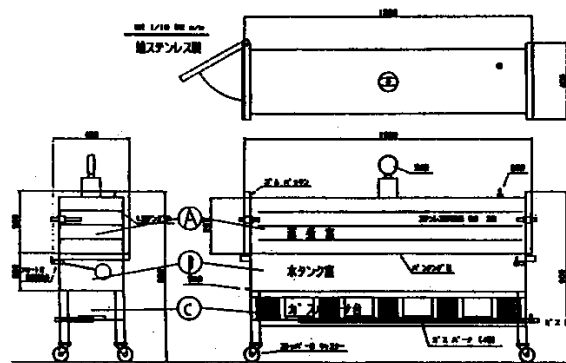


図-7 蒸煮装置

2.3.2 曲げ治具 (帯鉄) と内型治具の開発

(1) 曲率半径の設置

2.2.2(2)の最小半径50と材厚10mmから曲げ比率5を算出し、得られた比率から曲率半径を設定した。また、参考までに比率3と10を想定して、加工部材厚35、50 (mm) のときの曲率半径も算出した。

表-2 曲げ比率と曲率半径

No	比率	材厚 (mm)	曲率半径 (mm)
1	3	35	100
2	5	35	175
		50	250
3	10	35	350
		50	500

※比率3：当該企業での使用曲率半径

(2) 曲げ治具と内型治具の製作

曲げ治具は、図-8の形状で両サイドを鉄の把手とし帯鉄には実験の開発と同様のステンレス (1.0mm) を使用した。内型治具は、前項(1)の曲率半径の5種類とし水分で錆が生じないようにステンレス製とした。

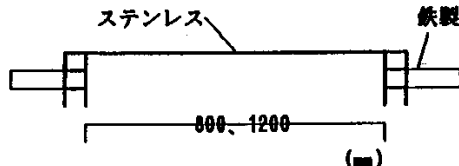


図-8 曲げ治具

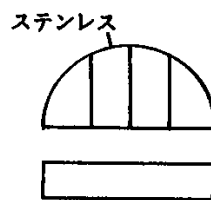


図-9 内型治具

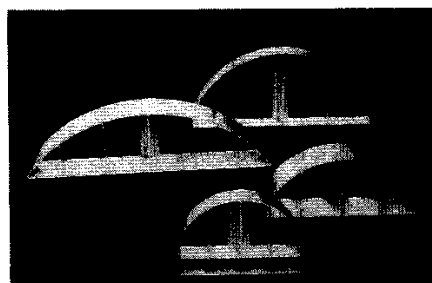


写真-4 内型治具 (実体寸法用)

2. 3. 3 軟化処理

2.3.1にて開発した蒸煮装置を使って軟化処理条件（含水率20%以上、温度90℃になるまでの処理時間）を測定した。

(1) 供試材

供試材には、実験的開発結果からレッドオーク、エルム、ホワイトアッシュ、ハックベリー、シカモア、ブナの6樹種を使用した。試験片の寸法は、50×100×600（mm）とし、中心部に直径4mmの穿孔加工した試験片を使用した。

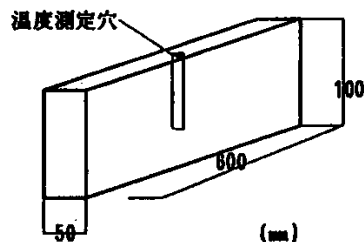


図-10 試験片形状

(2) 処理条件（処理時間）の測定

含水率と内部温度の経時変化の測定は、無処理材、蒸煮処理1時間後、2時間後、3時間後とし蒸煮装置炉内よりすばやく取り出して測定した。その時の蒸煮装置炉内温度は100℃である。

含水率変化の測定は、試験片の重量変化を測定し、その値から含水率を算出した。

温度変化の測定には、デジタル表面温度計（MODEL CD700 CHINO製）を使用した。

2. 3. 4 曲げ木加工部材の実験製作

軟化処理した加工部材は、直ちに所定の寸法（800、1,200（mm））に切断加工した。切断後曲げ治具に付け、曲げ木加工装置（定盤にクランプと内型治具を組み合わせたもの）にセットして部材の中央部をクランプで固定して曲げ木加工を行った。曲げ木加工を行う際に、容易に曲げ加工を行うために鉄パイプ（2m）を両側の把手に取り付け、これを利用して曲げ木加工を行った。曲げ加工部材は、曲げ治具を当てたままクランプにて内型治具に締め付け固定した後、そのままの状態而定盤から取り外した。固定したままの状態で24時間室内（室温18～22℃）に放置後、熱風乾燥処理（温度50～60℃、8時間）を行った。

使用した乾燥機は、電気定温乾燥機（KB-2、中島

理科学工業（株）製）である。

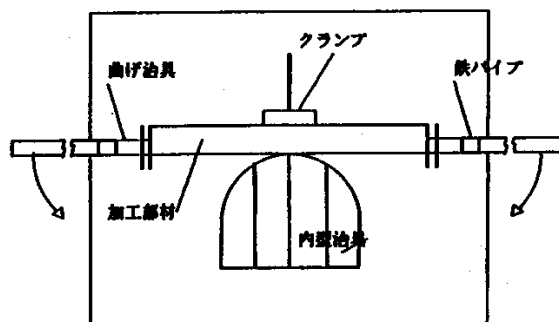


図-11 曲げ木加工

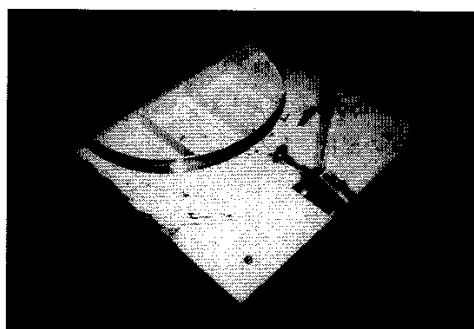


写真-5 曲げ木加工装置

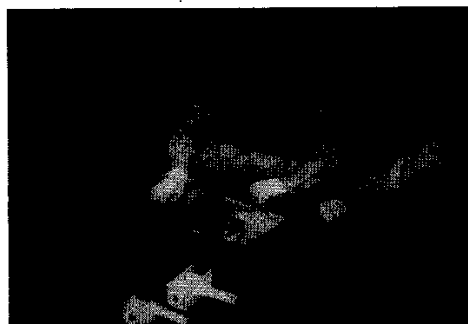


写真-6 クランプによる中心部の固定



写真-7 曲げ木加工

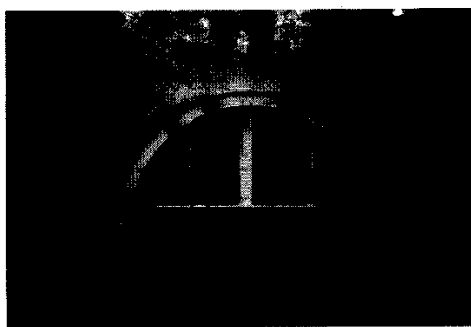


写真-8 固定した状態

2. 3. 5 曲げ木加工部材を使った製品モデルの試作

製品モデルとして椅子(2点)を試作した。加工部材は前項2.3.3の供試材からハックベリー(35×50×1200、35×100×800(mm))を使用した。部材の曲率半径は、100、350、500の部材である。

3 結果及び考察

3. 1 実験的研究

3. 1. 1 曲げ木加工適性の把握

(1) 曲げ強度試験

曲げ試験結果を図-12に表した。このグラフは、比例限度荷重からさらに荷重を付加して、破壊までのたわみ量を表したものである。曲げ木加工適性を推察するには、このたわみ量が最も重要な因子である。要するに、一定量でたわみ量の大きい樹種ほど曲げ木に適していると言える。

試験結果は、ハックベリーが最も曲げ木加工に適したたわみ曲線であった。

(2) 曲げ木加工実験

表-3に供試材別の曲げ木加工実験を表した。

試験結果から、ブナ、ハックベリー、レッドオーク、ホホワイトアッシュ、エルム、シカモアの6樹種は、設定したすべての曲率半径(5段階)で曲げ加工ができ、曲げ木に適していることが判明した。ゴム、タウンについては曲率半径200、150の曲げ加工は可能であるが、半径100になると試験片に引っ張り破壊、圧縮による座屈、変形等が生じた。カナリードは、曲率半径200で全ての試験片に圧縮による座屈が生じ曲げ木加工はできなかった。

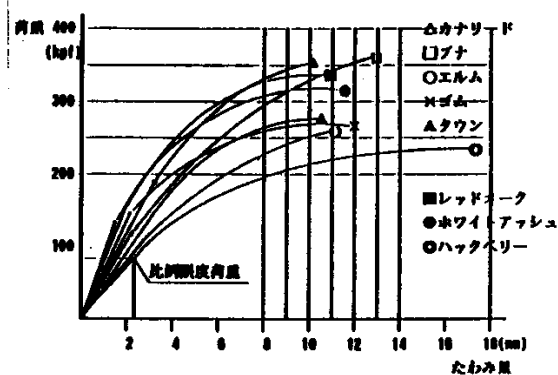


図-12 曲げ木強度試験結果

表-3 曲げ木加工試験結果

供試材	曲率半径(R)	成功率(%)	曲加工適性	備 考
カナリード	200	60	×	圧縮座屈 引張破断等
	150	50	×	
	100	10	×	
	75	0	×	
	50	0	×	
ブナ	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	
ハックベリー	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	
ゴム	200	90	○	引張破壊 変形等
	150	90	○	
	100	40	×	
	75	30	×	
	50	20	×	
タウン	200	100	○	圧縮座屈 引張破断等
	150	100	○	
	100	60	×	
	75	40	×	
	50	10	×	
レッドオーク	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	
ホホワイトアッシュ	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	
シカモア	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	
エルム	200	100	○	
	150	100	○	
	100	100	○	
	75	100	○	
	50	100	○	



写真-9 曲げ木加工部材 (10×20×350mm)

3. 2 開発的研究

3. 2. 1 軟化処理条件(処理時間)の把握

表-4に含有率と内部温度の測定結果を表した。結果から試験片の含有率が20%以上になるまでには、少なくとも3時間の蒸煮処理が必要である。

試験片の内部温度については、1時間の蒸煮処理ですでに90℃以上に達していることがわかる。よって、含水率20%以上、内部温度90℃以上の処理条件を同時に満たすには、3時間以上の蒸煮処理を必要とすることが判明した。

3. 2. 2 曲げ木加工部材の開発

写真-10と表-6に実体寸法での曲げ木加工の結果を表した。試験の結果は、ほぼ満足のできる結果であった。

3.2.3 製品サンプルの開発

写真-11、12は曲げ加工部材を使って試作した製品モデルである。写真-11は当該研究企業(株)朝日木工にて試作した椅子である。椅子の肘木部に曲率半径100の部材(35×50×1200mm)と背もたれ及び座枠前貫には曲率半径500の部材(35×100×800mm)を使用した。写真-12は、当該研究企業青柳木工(有)にて試作した曲げスツールである。背と座枠に曲率半径175の部材(35×50×800mm)を使用した。このことによって、曲げ木加工部材が家具部材として十分に利用可能であることを確認した。

表-4 蒸煮処理による含水率の変化 単位: %

樹種名	No	含 水 率 変 化			
		処理前	1時間後	2時間後	3時間後
レッドオーク	1	12	15	17	18
	2	12	15	16	16
エルム	1	12	17	18	20
	2	12	16	18	18
ホワイトアッシュ	1	12	15	16	16
	2	12	15	17	18
ブナ	1	12	17	19	21
	2	12	15	18	20
ハックベリー	1	12	17	19	22
	2	12	17	19	21
シカモア	1	12	19	23	28
	2	12	19	21	24

表-5 蒸煮処理による温度変化 内部温度 単位: ℃

樹種名	No	温 度 変 化			
		処理前	1時間後	2時間後	3時間後
レッドオーク	1	15	97	91	96
	2	15	93	92	91
エルム	1	15	96	91	97
	2	15	94	94	95
ホワイトアッシュ	1	15	92	88	93
	2	15	93	92	92
ブナ	1	15	89	92	97
	2	15	94	95	95
ハックベリー	1	15	97	92	98
	2	15	94	96	95
シカモア	1	15	94	92	95
	2	15	93	97	95

表-6 曲げ木加工結果

供試材 (材厚mm)		比率				備 考
		5	5	10	10	
ハ ッ ク ベ リ ー	35	○		○		
	50		○		○	
レ ッ ド オ ー ク	35	○		○		
	50		△		○	
ホ ワ イ ト ア ッ シ ュ	35	△		○		
	50		×		△	引張破壊等
シ カ モ ア	35	○		○		
	50		○		○	
エ ル ム	35	○		○		
	50		△		○	
ブ ナ	35	○		○		
	50		○		○	

※○: 成功率100% △: 成功率50%

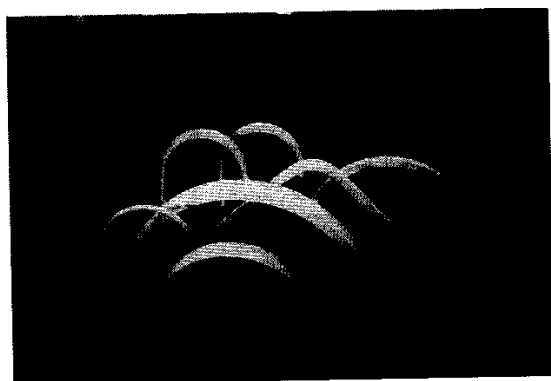


写真-10 曲げ木加工部材（実体寸法部材）

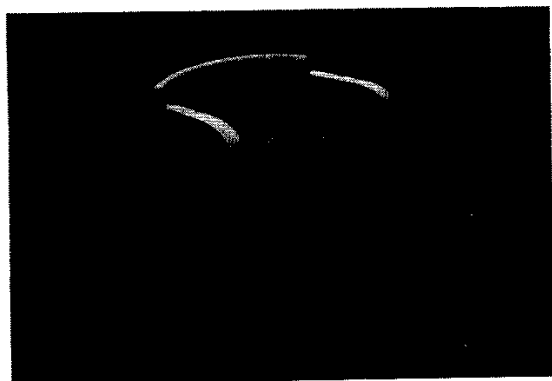


写真-11 製品モデル“小椅子”

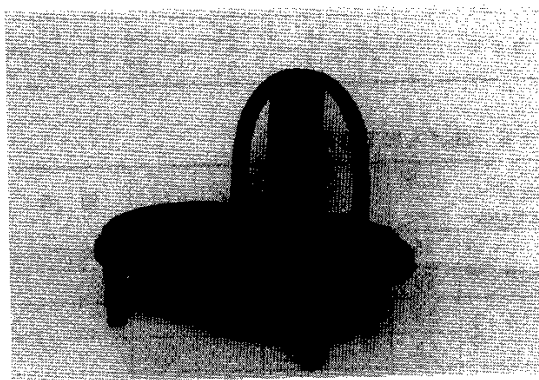


写真-12 製品モデル“曲げスツール”

上記内容について事業を推進したことにより、「曲げ木加工技術」の概要把握とその技術の修得が達成され、曲げ木加工部材を使った製品サンプルを試作するまでに至った。本研究の成果として次のことが言える。

①研究員の開発能力向上が計られた。

- イ. 曲げ木加工技術の歴史や原理を習得した。
- ロ. 曲げ木のメカニズム（細胞の変化）を研究したことにより、新たに木材組織について認識を深めることができた。
- ハ. 実験計画の立て方、報告書のまとめ方等習得することができた。

ニ. 研究者それぞれが積極的に技術開発に取り組んで行こうとする姿勢が見られるようになった。

②当該企業への曲げ木加工技術の技術移転が可能となった。

- イ. 試験片（10×20×350mm）にて、簡易に曲げ加工適性を把握する方法を修得した。
- ロ. 実体寸法での曲げ木加工方法を修得した。

③曲げ木を使った新製品の開発が可能となった。

- イ. 製品モデルを試作したことにより、今後の新製品開発への曲げ木加工部材の導入の可能性が高まった。

④産学官の交流が計れた。

- イ. 一年間の事業を通じて、客員研究員や当所研究員との交流を計ることができた。
- ロ. 曲げ木加工技術の修得のみならず、木材加工技術や改質技術の動向等について、情報交換や人的交流を計ることができた。

参考文献

1. 輸入材と特産材の曲げ加工特性に関する研究
1968 北海道林産試験場
2. マイクロ波加熱による木材の曲げ加工
1981 則元 京
3. 木材工業ハンドブック
1958 林業試験場編