

(8) 曲げ木加工技術を応用した家具部材の研究開発

日田産業工芸試験所 石井信義 大内成司
北嶋俊朗

要旨

平成5年度に取り組んだ「家具用材の曲げ木加工技術の開発研究」(中小企業研究者養成事業)で蓄積した曲げ木加工技術と外国産材(8種)の曲げ木加工適性結果を基に本研究を実施した。

(1)曲げ木加工装置を開発した。

(2)曲げ木加工方法(作業工程)の標準化を図った。

・開発した加工装置での曲げ木加工実験の結果、曲げ木加工に要する時間は約3~4分、高周波加熱装置による乾燥加熱処理時間は約4~6分であった。軟化処理後、曲げ治具にセットしてから加熱乾燥処理後まで約15~20分で曲げ木加工が可能であることを把握した。

・トーネット法での曲げ木加工実験結果は、クリアランス6段階(0、1、2、3、4、5(mm))、曲げ治具の帯鉄厚み5段階(1.0、1.3、2.0、2.5、3.0(mm))、すべてにおいて無理なく曲げ木加工が可能であり、曲げ木加工部材の引張り側(外側)や圧縮側(内側)に損傷(破壊や座屈)は生じなかった。

(3)スプリングバックについては、高周波加熱乾燥部材の場合、曲げ治具より解除後5日間後に3%の復元率を把握した。

(4)開発した部材は用途開発への提案として、BOX、テーブル、チェアに応用し可能性について検討した。

1. 緒言

曲げ木加工法は、家具、運動用具、楽器等の曲線部材や船舶、建築内装材に使用する構造用材の製造等かなり広い分野で取り入れられ活用されている。木材関連業界では、代表的な工芸的利用方法として秋田の曲げ輪っばや家具(チェアの背や肘木部、ソファ、ベッドの木部装飾部材)の曲線部材の製作等への利用が上げられ、トーネット法による曲げ木加工法が主である。

当日田地区の家具企業では、これら曲げ木加工法が木材資源の有効的活用、生産性の合理化、製品の品質向上の面からも有効な手段であることから曲げ木加工技術の導入について数年来検討されてきた。しかしながら、技術者の養成や設備機器に経済的負担が大きいことなどから本格的な導入には今一步踏み込めない状況であった。

また、家具企業では家具部材として外国産材の利用(95%以上)がほとんどで、この外国産材が曲げ木に適した材料かどうか掴めないことも、曲げ木加工法の導入を拒んできた要因でもあった。現在、曲線部材の製作には短直材をフィンガー工法でジョイントして、NCルーター等で切削加工を行いデザインに合った曲線部材を製

造しているのが現状である。

しかし、最近家具企業では、他商品との差別化、生産性の合理化等を図るために曲げ木加工法の導入を積極的に進めて行こうとする姿勢が見られるようになった。このようなことから、平成5年度には地元家具メーカーの研究者が中小企業研究者養成事業に参加して、外国産材の曲げ木加工適性や曲げ木加工法について共同研究を行った。

今年度はこれらの事業結果を基に、曲げ木加工装置(新規開発)を使った曲げ加工実験や乾燥実験等を行い、技術支援の為の資料を整備し、広く関連業界の振興に寄与することを目的に実施した。

2. 実験方法

2・1 実験フロー図

図-1に研究開発フロー図を図-2に曲げ木部材開発フロー図を表した。本研究はこの実験フロー図に従って実施した。

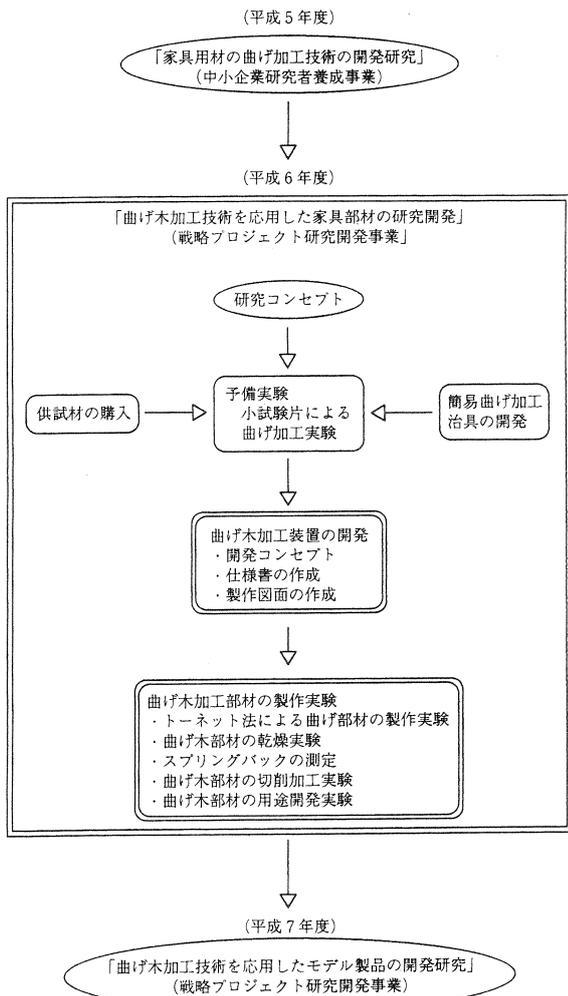


図-1 研究開発フロー図

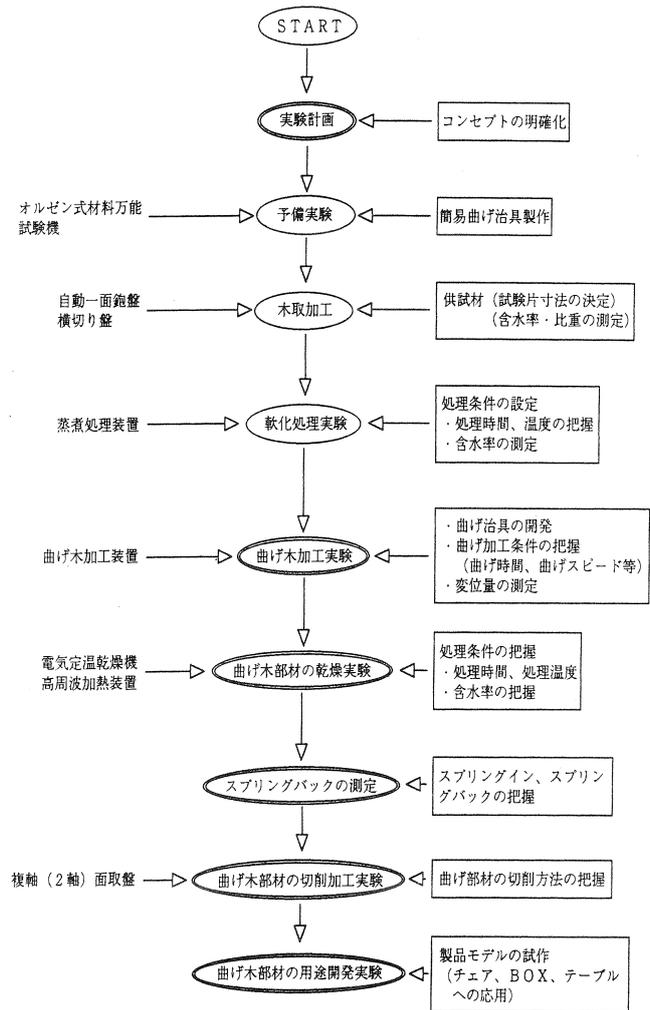


図-2 曲げ木部材開発実験フロー図

2・2 曲げ木加工装置（以下曲げ装置）の開発

2・2・1 開発コンセプト

木材を曲げ加工する場合ネックになるのは、曲げ加工方法である。曲げ加工には機械的曲げ木法（押し込み式、レバー式等）があるが、本研究では、製造工程の合理化（人力に頼らず技術者1名で製作可能）と品質の向上（精度の高い均質な曲線部材が製作可能）を図るために曲げ装置の開発を試みた。

開発した曲げ装置は、三角形の頂点にA、B、Cのローラーがあり、ローラーAの前後運動とローラーB、Cの左右運動の単純な組み合わせによって曲げ加工が可能な装置である。作業手順はローラーAの外側（ローラーB、C側）に部材（直材）をセットした後、そのままの状態にローラーB、Cの方向に作動させる。ローラーB、Cは部材の中央から左右に治具の形状に沿って移動しながら曲げ加工を行う方法である。ローラーAには取り外し

が可能な形状の異なる内型治具を採用することによって、様々な曲線部材を製作することができる。また、回転機能を備えているため曲げ輪っばの製作もできる。

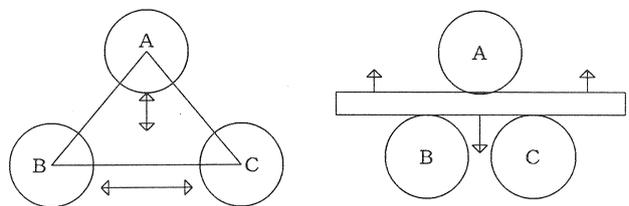


図-3 ローラー動作メカニズム

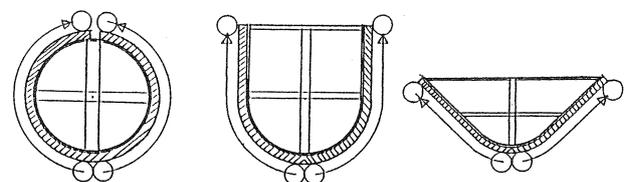


図-4 形状別曲げ加工例

2・2・2 製作図面と仕様の作成

- (1) ローラーA、B、Cの作動には油圧シリンダーを使用し、操作は手動レバーで行う。
- (2) 曲げ加工時にストレインメーターで加圧を測定し、圧力分布を記録計で把握する。
- (3) 曲げ木部材の最大寸法は、2,000×150×45(mm)が可能とする。

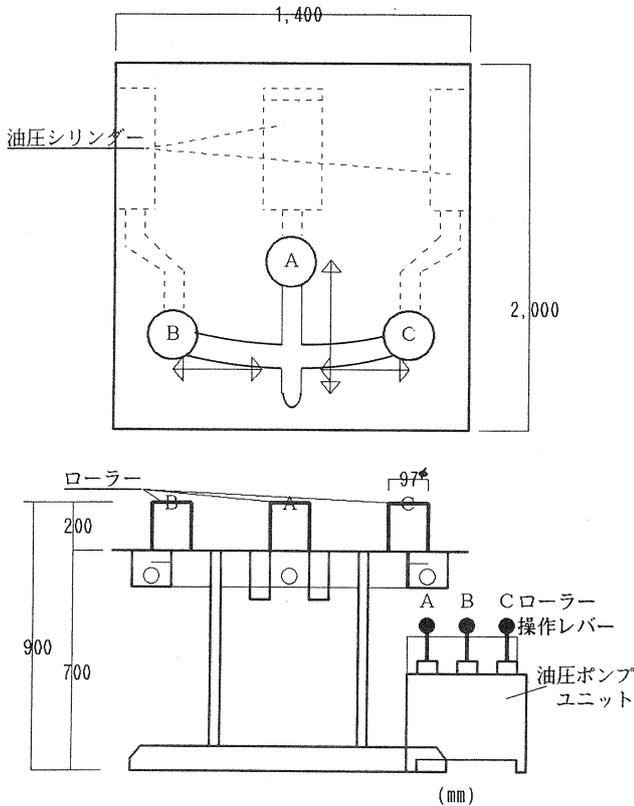


図-5 製作図面

2・3 曲げ木部材の製作実験

今回開発した曲げ装置を使用し、トーネット法による曲げ木部材の製作を行った。

2・3・1 供試材

供試材は、ハックベリー（米国産材、含水率11~13% 気乾比重0.65~0.72）を使用した。試験片の寸法は1,200×50×30(mm)として各試験項目当たり5本を製作した。試験片の選定は木理が通直で、できるだけ目切れない木材から木取り加工した。

2・3・2 曲率半径

今回の実験では、曲率半径を200(mm)Rとした。よって曲げ比率はR（曲率半径）/T（材厚）から6.7である。

2・3・3 曲げ治具（帯鉄）と内型治具の製作

曲げ治具は、図-6のような形状とした。帯鉄は錆びにくいステンレスを選び、厚さの異なる5種類（1.0、1.3、2.0、2.5、3.0(mm)）を使用し、両端のボルトで試験片の木口が固定できるように工夫した。

内型治具はラワン合板（65mm）を使用し、半径200mmRに設定して、図-7の寸法で製作した。

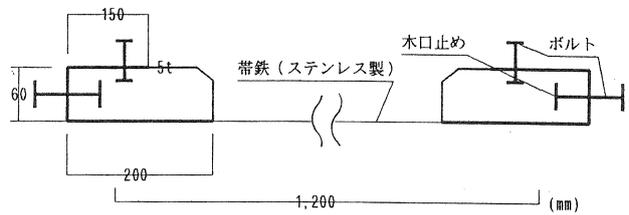


図-6 曲げ治具

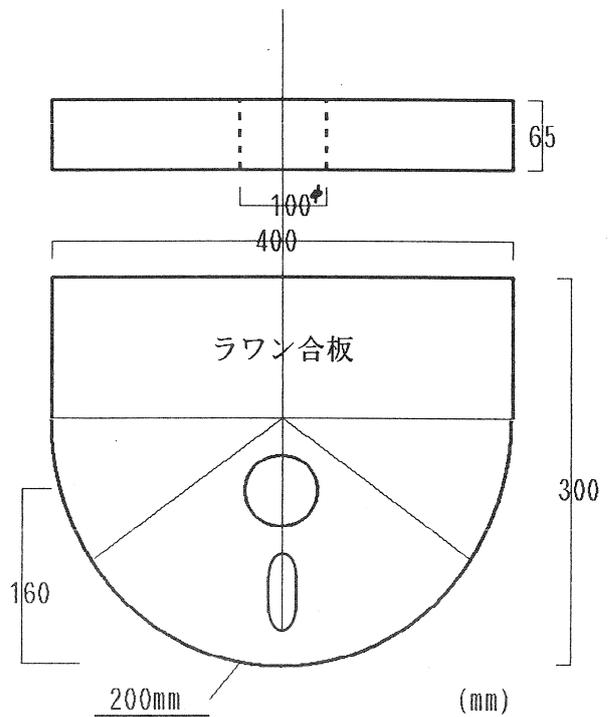


図-7 内型治具

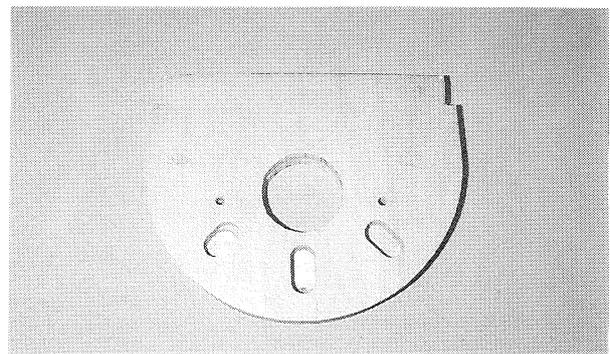


写真-1 内型治具

2・3・4 軟化処理

平成5年度に開発した蒸煮装置を使って、試験片の軟化処理を行った。軟化処理条件は、100℃で4時間とし、その時の含水率は23～27%に調湿した。

2・3・5 曲げ木加工実験

曲げ木加工の方法は、軟化した試験片を蒸煮装置より取りだし、迅速に曲げ治具にセットして加工部材の中央部をクランプで内型治具（曲げ装置Aローラーに固定）に締め付け固定した。その後、内型治具を前方に移動させながら、ローラーB、Cで加工材の中央から左右に曲率半径形状に曲げ加工を行った。その時のローラーAの動作速度は1.5m/M、ローラーB、Cは1.3m/Mである。また、ローラーB、Cの曲げ加工時の側圧は、曲線部分（図-8、a→b、a→c）が123～147kgf/CM²で、直線部分（b→d、c→e）の側圧は、442～492kgf/CM²である。

試験片は引っ張り側（外側）に木表を圧縮側（内側）に木裏がくるようにセットした。加工した曲げ部材は曲げ治具にセットしたまま、内型治具に固定した状態で曲げ装置から取り外した。

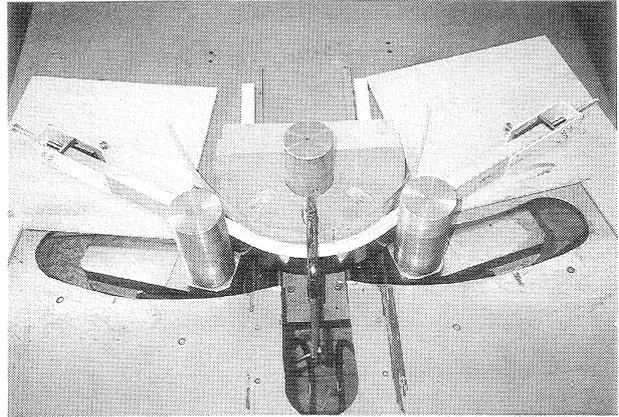


写真-3 曲げ木加工・①

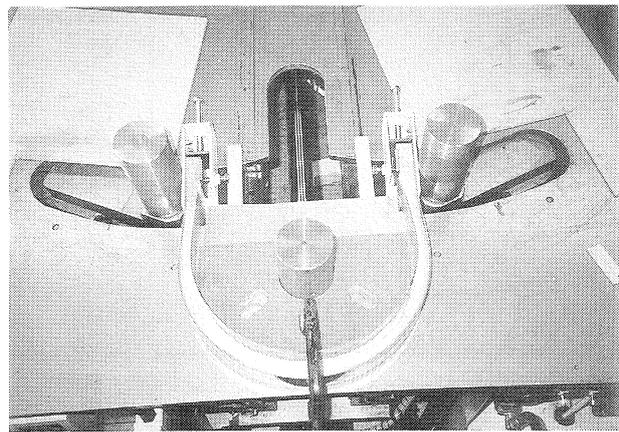


写真-4 曲げ木加工・②

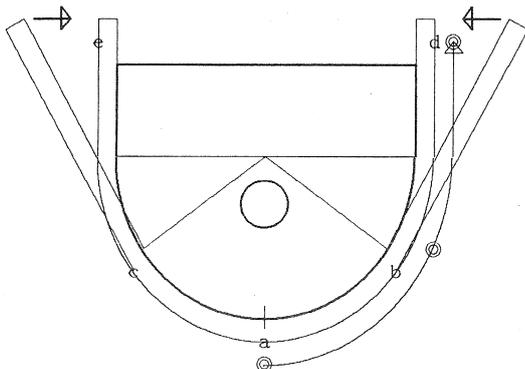


図-8 曲げ木加工メカニズム

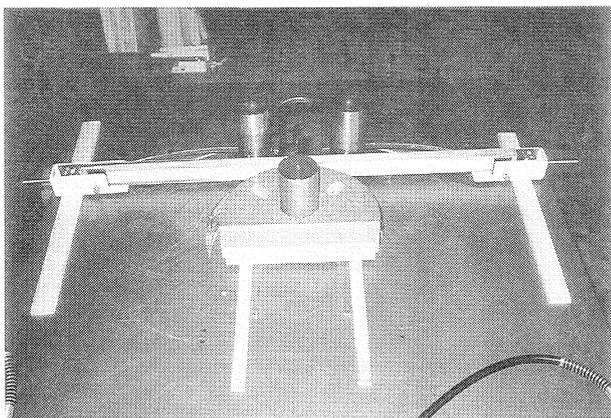


写真-2 曲げ治具にセットした状態

(1) 変位量の測定

曲げ加工する際、曲げ部材は繊維方向へ伸びようとする働きがあり実際に伸びる。この伸び量がクリアランスの設定要因となり、曲げ木部材の成功率に影響を及ぼす。測定方法は、基点aから左右にb、c、d点における数値を測定し（図-9）、その数値を変位量（伸び量）とした。

変位量の測定には、PORTABLE DATA LOGGER TDS-302とダイヤルゲージ型変位計DDP-30A（株東京測器研究所製）を使用した。

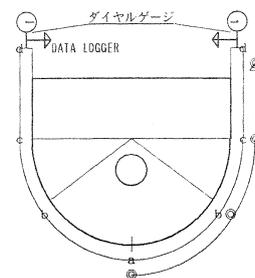


図-9 変位量の測定

(2) 圧縮応力の測定

トーネット法による曲げ加工の特徴は、部材の両木口を固定して曲げ加工することである。木材を曲げると、外側に引っ張り応力が働きそのまま曲げていくと外側が破壊してしまう。そこで引っ張り応力を小さくするため両木口を固定して変位（伸び）を止めて曲げ加工を施す。両木口を固定する場合、クリアランスの違いによって変位量に対して圧縮応力が異なってくる。このことが曲げ部材の仕上り状態を左右する。

そこで今回、クリアランスを6段階（0、1、2、3、4、5（mm））に設定して曲げ加工したときの、圧縮応力の変化を測定した。

測定方法は、図-10のように曲げ治具の両端に油圧シリンダーを固定して、先端にかかった荷重をプレッシャゲージで読取り算定した。荷重の測定には、油圧ジャッキ（㈱大阪ジャッキ製作所製）を使用した。

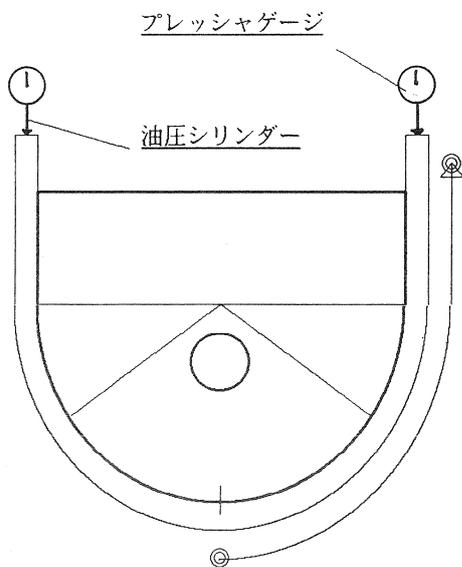


図-10 圧縮応力の測定

(3) 曲げ木加工実験

1) 帯鉄の厚さの変化による曲げ木加工

曲げ加工する時にできるだけ帯鉄に引っ張り応力が働くようにして曲げるのが理想的である。そこで、2・3・3で述べた曲げ治具による曲げ加工を行って、曲げ木部材の仕上り状態の良否について目視判定した。

2) クリアランスの変化による曲げ木加工

曲げ加工する際、繊維方向に伸びないように部材の両木口を固定して曲げ加工するのが理想的である。クリアランス0と5mmの場合は、固定した金具や帯鉄にかか

る負担はかなりの違いがある。軽い負担（圧縮応力）で曲げ加工をすることが理想的である。

そこで、クリアランスを変化（前項2・3・5（2））して曲げ加工を行って、曲げ木部材の仕上り状態の良否について目視判定した。

2・4 高周波加熱による乾燥実験

曲げ木部材の生産性の効率化と仕上り形状の安定化を速やかに行うために、高周波による加熱乾燥を実験した。曲げ木部材は曲げ装置から、治具に固定したままで取りはずし高周波加熱乾燥を行った。

加熱（印加）時間は、

- ①1.5分印加—1分休—1分印加—1分休—1分印加—1分休—1分印加で延べ4.5分間の印加時間。
- ②2—1—2—1—2分印加で述べ6分間の印加時間。
- ③5分間連続の印加時間。

として実施した。加熱乾燥（加熱方式は全体加熱）を実施した後、そのままの状態 で自然環境化（室温16～18℃、湿度73～80％）に1～1.5時間放置し、常温に達した後、曲げ治具から解除した。解除後12時間さらに常温化に放置した後含水率を測定した。

使用した高周波加熱装置は、型式FDY-1220、高周波出力12KW、発振周波数13.56MHZ±0.05％（富士電波工機㈱製）である。

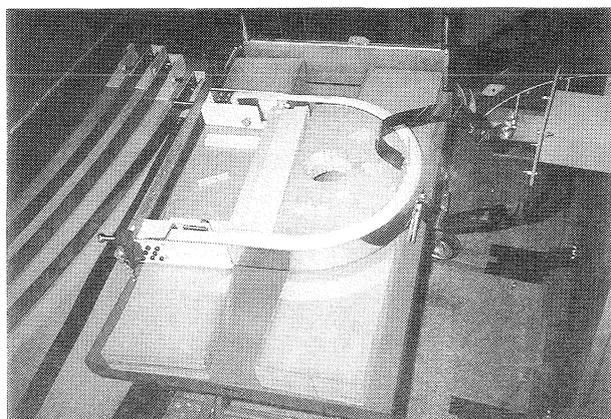


写真-5 高周波加熱乾燥

2・5 スプリングバックの測定

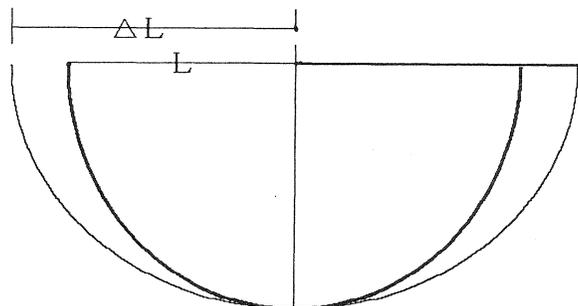
曲げ木部材は、乾燥後デザインで指定された曲線形状に切削加工されるが、長い時間放置すると部材には残留応力があり、これの影響で復元（スプリングバック）が生ずる。スプリングバックの原因として、温度、湿度、

放置時間等が考えられる。

そこで、曲げ木部材を自然環境下（温度18～20℃、湿度70～80%）に5日間放置して、半径の変位量を測定して復元率を算出した。

測定には、STENLESS HARDENED 1000mm JIS C型1級（シンワ製）を使用し、目測で0.5mmまでの変位量を測定した。

$$\text{復元率} = \left(1 - \frac{\text{取り外し直後の半径}}{\text{時間経過後の半径}} \right)$$



※ L・取り外し直後の半径
ΔL・時間経過後の半径

図-11 復元量の測定

2・6 切削加工実験

曲げ木部材の切削加工は、図-12に示すように圧縮側から行い、圧縮側の仕上げ曲面を基準にして、引っ張り側の凸部の中央から左右に切削加工した。切削条件として、部材の送り速度は3～4m/分、切削量は1mmに設定した。刃物の回転数は8,000RPM/Mで、切削方向はアッパーカットである。刃物はブロック組み合わせ型カッターを使用した。

切削加工には、副軸（2軸）面取盤WM-112型（庄田鉄工（株）製）を使用した。切削実験には、クリアランス0、帯鉄1mmの曲げ治具で製作した曲げ木部材を使用した。

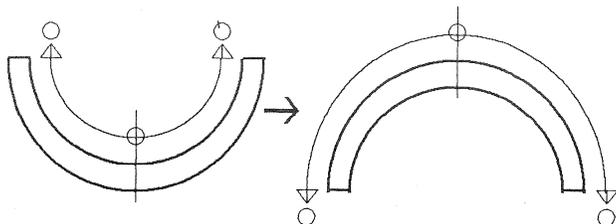


図-12 切削加工工程



写真-6 ブロック組み合わせ型カッター

2・7 曲げ木部材の用途開発

供試材ハックベリー（1,200×50×30、950×50×30、720×50×30(mm)）を使用して、曲率半径350、275、200(mm)の曲げ木部材を製作した。曲率半径200の部材はチェアの背とBOXの天板のアーチ部材として用途開発を試みた。275の部材もアーチに使用した。また、半径350はテーブルエッジ部材とBOXのアーチに使用した。そして、それぞれの用途で曲線家具部材としての可能性を追究した。

3. 実験結果及び考察

3・1 曲げ木加工装置の開発

2・2で設定した開発コンセプトと製作図面どおりの曲げ木加工装置を開発した。開発した装置は、ほぼ満足できる性能を備えており、これからの曲げ木部材の製造に十分活用できるものと考えられる。

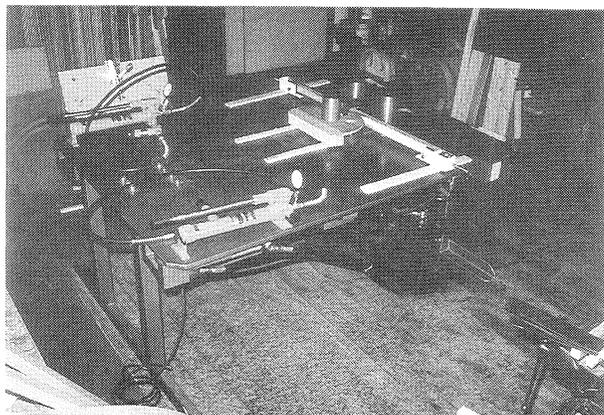


写真-7 曲げ木加工装置

3・2 曲げ木加工実験

(1) 変位量の測定

表-1は変位量の測定結果である。曲げ加工すると、1,200mmの部材の場合両木口方向(繊維方向)に約9%の伸びをすることを把握した。測定結果から曲げ部材の最大変位量は、範囲で9.01~12.01(mm)平均で10.66(mm)を把握した。左右の変位量については、若干の数値の差はあったものの平均では、ほぼ同一数値であった。これらの数値は今後の曲げ加工の資料として活用したいと考えている。

表-1 曲げ木部材の変位量

試料	量	変位量 (mm)		
		b点	c点	d点
1	右	6.20	8.71	11.79
	左	6.33	8.84	12.01
2	右	5.62	7.02	11.00
	左	5.04	6.89	10.42
3	右	4.05	6.02	9.75
	左	4.06	5.89	9.01
4	右	6.21	8.85	10.85
	左	6.75	8.86	11.02
5	右	5.65	7.25	9.89
	左	6.05	8.01	10.90
平均値	右	5.55	7.57	10.66
	左	5.65	7.69	10.67
範囲	右	4.05~6.21	6.02~8.85	9.75~11.79
	左	4.06~6.75	5.89~8.86	9.01~12.01

(2) 圧縮応力の測定

表-2に圧縮応力の測定結果を、図-13にその比較を表した。結果はクリアランス0の時、平均で533kgf/CM²の最も高い数値であった。クリアランス1mmでは429kgf/CM²、2mmでは436kgf/CM²を測定した。クリアランス3mmでは340kgf/CM²、4mmでは329kgf/CM²を、さらに5mmのクリアランスでは223kgf/CM²を測定した。

この結果からクリアランス1mmと2mm、3mmと4mmでは、圧縮応力はさほど大差ない数値を測定した。この結果については、検討中であるが今回の測定から、クリアランスの違いによる圧縮応力の変化を把握することができたものとする。

表-2 圧縮応力の測定結果 (kgf/cm²)

ク	試料	応力	ク	試料	応力
0	①	右	3	①	右
		左			左
	②	右		②	右
		左			左
	③	右		③	右
		左			左
範囲	右	範囲	右		
	左		左		
1	①	右	4	①	右
		左			左
	②	右		②	右
		左			左
	③	右		③	右
		左			左
範囲	右	範囲	右		
	左		左		
2	①	右	5	①	右
		左			左
	②	右		②	右
		左			左
	③	右		③	右
		左			左
範囲	右	範囲	右		
	左		左		

※ク・クリアランス(mm)

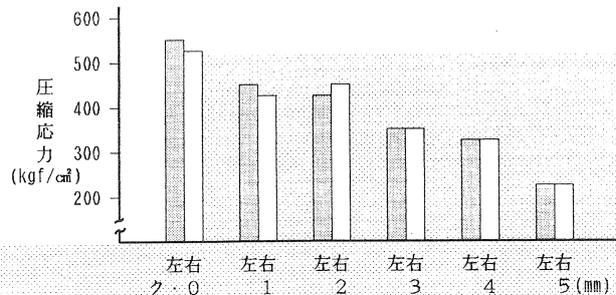


図-13 圧縮応力

(3) 曲げ木加工実験

1) 帯鉄の各厚さによる曲げ加工

曲げ治具帯鉄の厚さを変えて曲げ加工を行った。その結果を写真-8~12に示した。いずれの帯鉄で実施しても、曲げの結果は良好で引っ張り側と圧縮側に製品部材におよぼすような損傷(破壊や座屈)は生じなかった。

このことによって、帯鉄1mmの曲げ治具で十分であることを確認した。

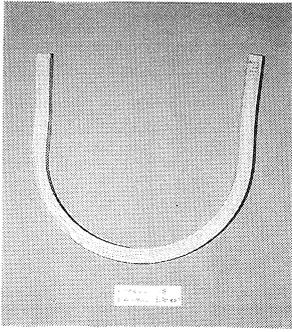


写真-8 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・1.0)

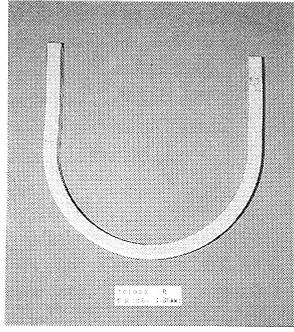


写真-9 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・1.3)

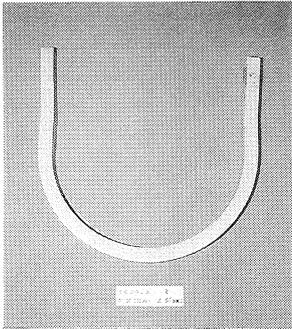


写真-10 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・2.0)

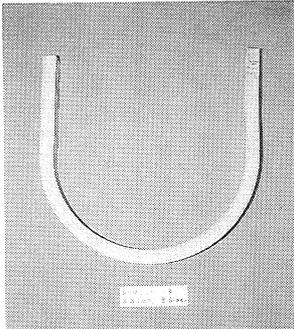


写真-11 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・2.5)

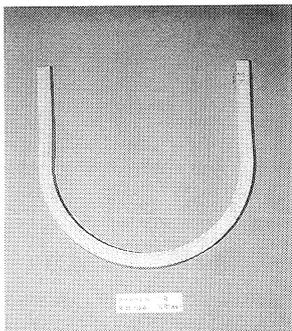


写真-12 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・3.0)

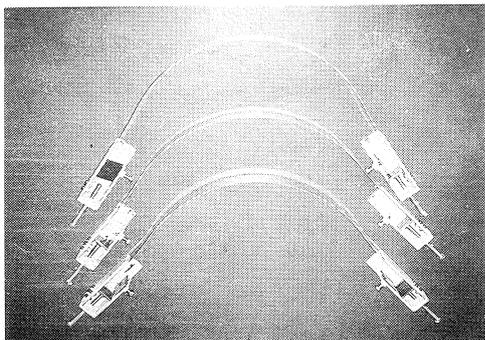


写真-13 曲げ治具
(曲げ加工後の状態)

2) クリアランスの変化による曲げ木加工

実験結果は良好で曲げ木部材の引っ張り側や圧縮側に損傷(破壊や座屈)は、生じなかった。

今回の実験では、5.0mm以内までのクリアランスであれば曲げ加工は可能であることを把握した。但し、クリアランス0~2.0(mm)では、曲げ木部材の直線部分にバックリングが発生した。(写真-14,15,16)バックリングの発生を止めるには、内型治具の改良、改善とクリアランスと帯鉄の組み合わせを検討することによって解決できるものと考ええる。

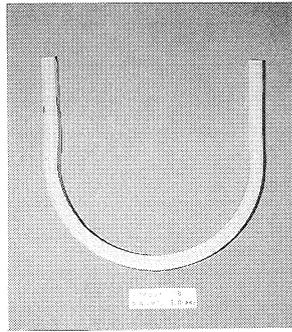


写真-14 曲げ木加工部材
(ク・0、帯鉄・1)

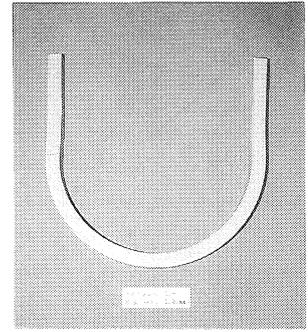


写真-15 曲げ木加工部材
(ク・1、帯鉄・1)

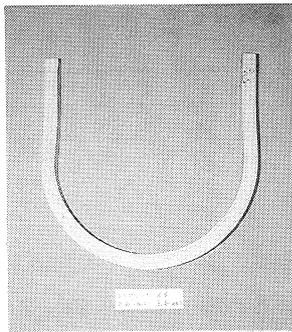


写真-16 曲げ木加工部材
(ク・2、帯鉄・1)

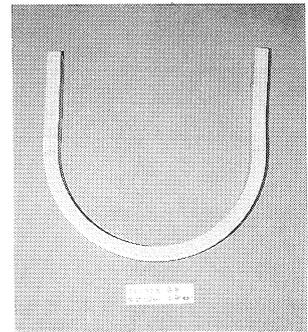


写真-17 曲げ木加工部材
(ク・3、帯鉄・1)

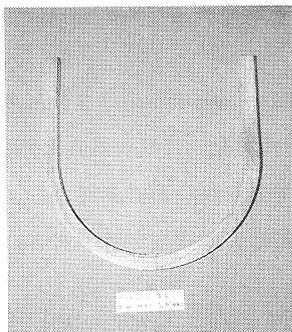


写真-18 曲げ木加工部材
(ク・4、帯鉄・1)

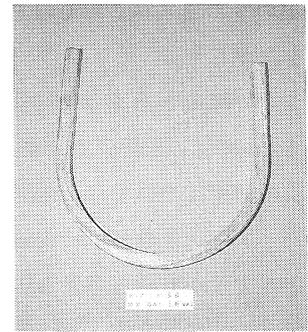


写真-19 曲げ木加工部材
(ク・5、帯鉄・1)

(4) 生産性と均質化(曲げ木形状の安定化)

開発装置で曲げ木加工実験を実施した結果、下記の事を把握した。

- ①曲げ木作業の簡易化が図れ、労力軽減による曲げ木加工が可能になった。
- ②曲げ木作業技術者が1名で作業が可能となった。(従来は3～4名必要であった)
- ③ローラー作動を利用するため、ムリなく曲げ加工が施され、仕上り形状が均質な曲げ部材の製造が可能となった。
- ④曲げ加工作業は、約4～5分と短い時間で可能であることが把握できた。
- ⑤曲げ装置は、さらに改良することによって、希望する様々な曲線部材(曲げ輪っばやS字曲線)を製作することが可能と考える。

3・3 高周波加熱による乾燥実験

高周波加熱乾燥では、印加時間3条件とも曲げ治具から解除して12時間後には、含水率が10～13%に低下していた。さらに、仕上り形状を判定すると、曲げ木部材に乾燥割れや極端な反狂は生じなかった。このことによって部材の乾燥には、高周波加熱を採用することが効果的と考えるが、消費電気料等製造コストも検討することが課題である。この方法については、実験を繰り返し、データを整備していく考えである。

3・4 スプリングバックの測定

図-14に復元率の変化を表した。参考に熱風乾燥法(電気定温乾燥機、40～45℃で8時間/日、間欠運転)で処理した曲げ木部材の復元率を表した。図から明らかのように、熱風乾燥部材は、24時間後にはすでに7%の復元率が認められ、120時間(5日)後には10%の数値を把握した。

高周波乾燥部材は、24時間後で1%、120時間後で3%の復元率であった。曲げ木部材のスプリングバックが大きいと切削加工や最終仕上り形状に影響してくる。曲げ木部材は速やかに加工するか復元しないように固定して調湿しておくなど、なんらかの対策が必要と考える。

次年度はスプリングバックを除く方法として、水蒸気による高圧処理を実施して、寸法安定化を図る計画である。

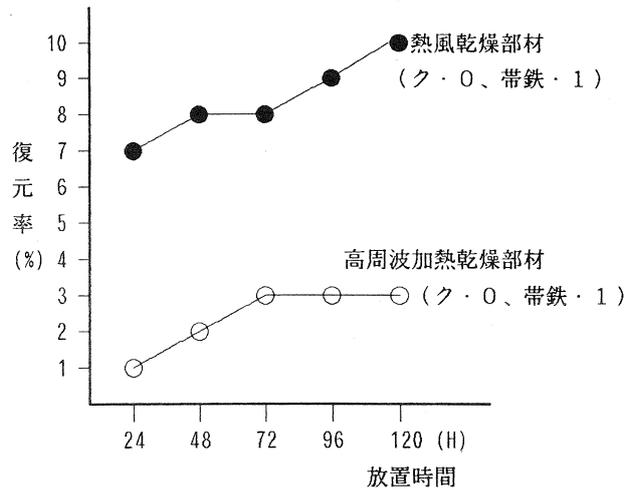


図-14 復元率

3・5 切削加工実験

今回の切削加工実験では、圧縮側には支障はなく、ムリなく切削加工が可能であり、切削面はほぼ満足できる削り肌であった。しかし、引っ張り側で木理の目切れの影響で破壊が生じた。また、デザインで指示された寸法に加工する場合、スプリングバックを生じていると切削治具にセットできなく、矯正して加工を施さなければならない状態であった。スプリングバックは部材の切削加工、あるいは部材の利用にとってきわめて重要な課題である。



図-15 破壊した曲げ木部材

3・6 曲げ木部材の用途開発

用途開発の第1段階として、チェア、BOX、テーブルを試作した。写真-20～23に試作したモデルを示した。曲線部材を使った製品は、柔らかいラインを表現し、優しい雰囲気を漂わせてくれる。

生活用品として使用する場合を想定すると、チェアは部材と部材の接合部、あるいは曲げ木部材そのものの強度特性について把握することが必要である。

木材には、曲りにくい木と曲り易い木がある。本研究

では、比較的曲げ易い外国産材（ハックベリー）を選定した。次年度は、外国産材の他に国産材（スギ、ヒノキ等）の曲げ木部材を製作して、素材と曲線に合ったモデ

ル製品（ソファ、チェア等）を家具企業と共同開発して、用途開発への道を切り拓く考えである。

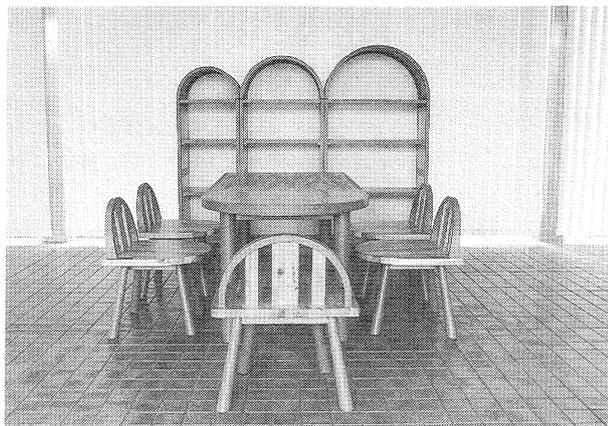


写真-20 試作品全体構成

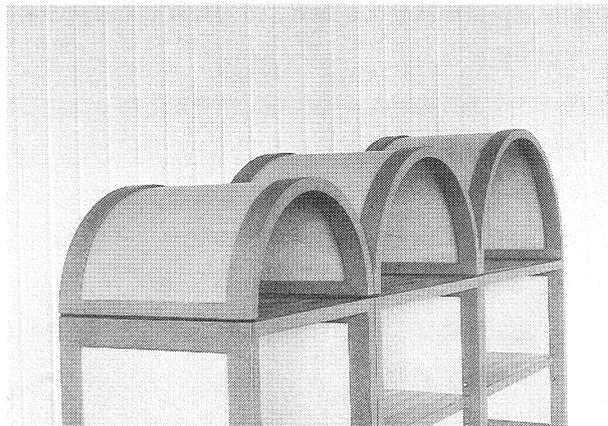


写真-22 BOX天板使用例

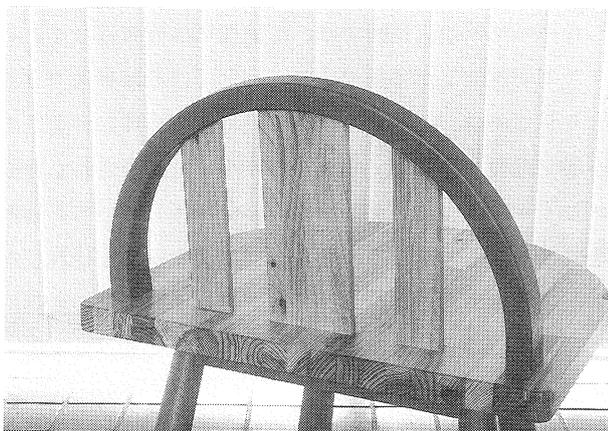


写真-21 チェア背使用例



写真-23 テーブルエッジ使用例

本研究では曲げ木加工装置を開発し、その装置を使用して曲げ木加工実験を実施して様々なデータを集積できたことは、最大の成果であった。また、データの内容が不備なところもあるが、次年度へのステップとしての資料になれば幸である。

参考文献

1. 木材を曲げる。1991 則元 京
2. マイクロ波加熱による木材の曲げ加工
1981 則元 京

3. 家具用材の曲げ木加工技術の開発研究
1994 日田産業工芸試験所
4. 輸入材と特産材の曲げ加工技術に関する研究
1968 北海道林産試験場
5. 木材工業ハンドブック
1982 農林水産省林業試験場
6. 材料・技術・デザイナーその2ー
1971 阿部行夫
7. 木工機械工作便覧 1971 成田寿一郎