

圧縮セット木材の水分・熱回復特性を活かした新しい教材の開発*

井上 雅文**, 青木 務***, 額川 五郎****

Development of a New Teaching Material Utilizing Recovery of Compressive Set of Wood.*

Masafumi INOUE**, Tsutomu AOKI*** and Goro EGAWA****

(平成4年8月1日受理)

This article presents a new teaching material for the wood processing in the industrial art education of junior/high school where the hygrothermal softening and recovery of compressive set of wood are skillfully utilized.

Wood softened by the action of both moisture and heat can be easily compressed to an extremely high extent due to the buckling of the cell walls. The compressive deformations are fixed when dried under restraint. However, they are not permanently stable and almost recovered to the original state if the wood specimen is again softened. Utilizing these properties, we produced a product named Cupid's arrow shown in Fig. 1 in which a wooden arrow pierces a small hole in a heart-shaped wooden piece.

Wet sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don) specimen irradiated by microwaves could be compressed up to 24% of its original dimension in radial direction without any visual failures. The dimensional ratio of the specimen before and after the recovery of compressive set reached about 3.7. From these results, sugi was considered to be suitable for this processing.

A domestic microwave heater for cooking (600W) and a desk vise can be used to produce this product.

概 要

木材加工に関する最新の技術を中等教育課程での木材加工教育に導入することを目的に、圧縮セット材の水分・熱による回復特性を利用した新しい教材の開発を行った。

飽水状態のスギ材にマイクロ波を照射し、放射方向に圧縮変形すると、材に巨視的な破壊を与えることなく約76%の変形を与えることが可能であった。その後乾燥すると、変形は一時的に固定された。圧縮セット

* 本研究は、日本産業技術教育学会近畿支部 第5回研究発表会(1988年11月, 和歌山)において発表した。

** 木質バイオマス部門, 物性制御研究室 (Division of Wood Biomass Science, Laboratory of Property Enhancement).

*** 神戸大学教育学部 (Kobe University, Faculty of Education Hyogo),

**** 大一ウッド株式会社 (Daiichi Wood Co. Ltd., Osaka).

Keywords: Wood, Teaching material, Hygrothermal softening, Drying set, Recovery of set

試験片を再び飽水状態としてマイクロ波を照射すると、圧縮変形の程度によらず、与えられた変形の約85%が回復した。この時、圧縮セット材の回復材に対する寸法比は、約3.7倍となった。

このような木材の性質を利用して、ハート型にあげられた小さな穴に、外観上、通るはずのない矢を通して製品(図1, “キューピットの矢”)を試作し、製作手順を確立した。また、本製品は、家庭用の電子レンジ(出力 600 W) および小型の万力を用いても加工が可能であり、教材としても期待できることが分かった。

1. 緒 言

私たちは、古来より木に囲まれて生活してきた。明治以降の技術革新により、種々の代替工業材料が開発されてきたが、現在もなお、木材は、材料として重要な位置を占めている。特に最近では、木質環境が人間の生理、情緒に及ぼす効用が科学的に明らかにされ、木材に対する意識が高まりつつある¹⁾。

天然材料である木材を有効に利用するため、その長所を強調し、欠点を削除するため、様々な物理的あるいは化学的な加工方法が開発され、実用化されている^{2),3)}。実際に、身のまわりの木質製品を見ても、木材が素材のまま利用されることは少なくなった。

しかし、中等教育課程の木材加工教育における教材は、従来からの切削および接着加工を中心としたものがほとんどである。また、これらが当然のこととして取り扱われているように思える。著者らは、このような固定観念を打破し、従来の指導内容に加え、最新の技術を導入していくことも重要であると考え。その一例として、本報告では、塑性加工²⁾を取り上げた。

木材は本来、弾性的な材料であるが、水分と熱の作用で軟化し、破壊に至るまでの変形量が著しく増大する。変形した状態で乾燥すると、変形は一時的に固定される。これをドラインゲットと呼ぶ。曲げ木加工は、このような木材の特異な性質を活かした加工法の一例であり、既に、その教材化に関する研究が報告されている^{6),7)}。

一方、ドラインゲットされた木材は、乾燥状態では比較的安定であるが、水分と熱の作用を受けるとほぼ加工前の状態に回復することが知られている⁸⁾。曲げ木加工では、加工材の水分と熱による形状変化が問題とされた。

本報告では、ドラインゲットされた木材が、再び、ほぼ変形前の状態に回復するという性質を積極的に活かした製品として、図1に示す“キューピットの矢”を試作した。これは、ハート型にあげられた小さな

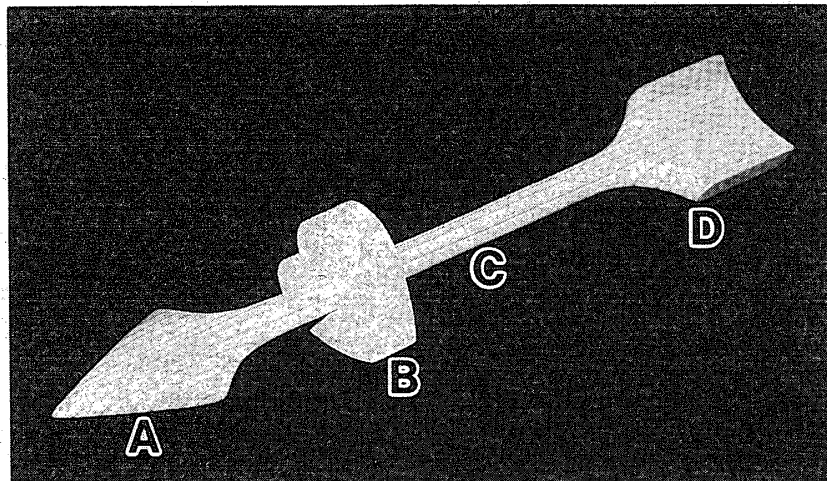


図1 キューピットの矢

A : やじり部 B : ハート型 C : 軸 D : 矢羽根部

穴に、外観上、通るはずのない矢が貫通したもので、一見して、製造方法が明かでなく、教育効果が期待される。本報告では、“キュービットの矢”を製作する上で必要となる基礎的なデータおよび製作上の注意点を示す。

2. 実験方法

2.1 横圧縮試験

供試材料として、気乾比重および平均年輪幅が0.30および1.8 mmのスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) 辺材を用いた。試験片寸法は、30 mm (繊維方向)×20 mm (放射方向)×30 mm (接線方向)とした。

試験片を 20°C 気乾、20°C 飽水、95°C 飽水状態とし、材料試験機 (TOM-5000) を用いて放射方向に圧縮試験を行った。気乾および飽水状態での含水率は、それぞれ11.5%, 223%であった。変形速度は毎分1mmとした。飽水状態の試験は、ホットバス中で行った。

2.2 圧縮セット材の調製および水分・熱回復試験

供試材料および試験片寸法は横圧縮試験と同様とした。全乾寸法を測定した試験片に、アスピレーターを用いて水を減圧注入した後、マイクロ波 (東芝製 TMB-3100, 出力: 2.4 kW, 図2 A) を照射して加熱した。その後、直ちに圧縮成型機 (神藤金属工業製 NFS-50 型, 図2 B) を用いて放射方向に圧縮変形し、そのまま熱板中に24時間放置してドラインセットを行った。熱板温度は 80°C とし、圧縮セット量は、ディスタンスバーを用いて 0~80%に調整した。

回復処理は、前述と同様の方法で圧縮セット試験片に水を注入して飽水状態とした後、1時間煮沸し、最後にマイクロ波を2分間照射して行った。圧縮セット量、回復セット量、回復度および回復倍率は、処理前 (l_o), 圧縮セット材 (l_c), 回復処理材 (l_r) の全乾寸法から、次式によって計算した。

$$\text{圧縮セット量} = \frac{l_o - l_c}{l_o} \times 100 (\%)$$

$$\text{回復セット量} = \frac{l_r - l_c}{l_o} \times 100 (\%)$$

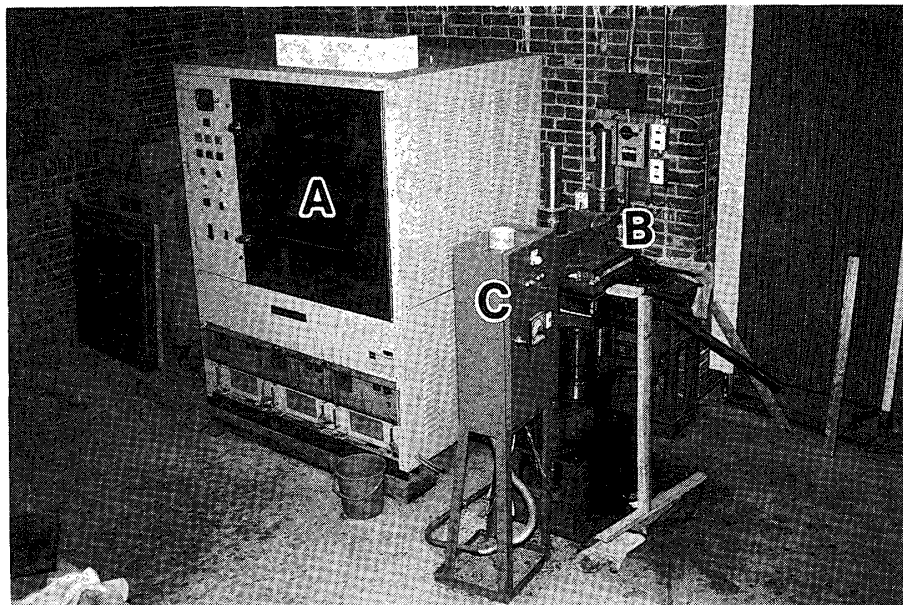


図2 大型マイクロ波照射装置および熱圧縮成型機

A : 大型マイクロ波照射装置 B : 熱圧縮成型機 C : 温度制御装置

$$\text{回復度} = \frac{l_R - l_c}{l_0 - l_c} \times 100 (\%)$$

$$\text{回復倍率} = \frac{l_R}{l_c} (\text{倍})$$

2.3 走査型電子顕微鏡観察

鋭利な刃物で観察表面を切り出し、金コーティングを施して、走査型電子顕微鏡 (HITACHI S-500) を用いて、細胞壁の形態変化を観察した。

3. 結果および考察

3.1 木材の横圧縮試験および圧縮セットの水分・熱回復

図1に示す“キューピットの矢”を製作するには、木材の水分と熱による軟化、乾燥による変形の一時固定、水分と熱による変形の回復について理解しなければならない。ここでは、これらの現象を実験結果を示して説明する。

図3は、スギ材を放射方向に圧縮変形した場合の荷重と変位の関係を示す。図中Aは 95°C 飽水状態、Bは 20°C 飽水状態、Cは 20°C 気乾状態での結果を示す。荷重—変位曲線の外形は、3条件とも同様の傾向を示し、変位の増加とともに荷重が増加する。最初の微小な変形は弾性的な変形であり、変位の増加に従い荷重は直線的に増加する。変位が降伏点を越えると、荷重増加は緩やかとなる。弾性係数および降伏荷重は、20°C 気乾状態 > 20°C 飽水状態 > 95°C 飽水状態の順となり、水分と熱によって木材成分が軟化されていることが分かる。変位の増加に対し荷重が増加しない領域での細胞の形態変化は、細胞壁の曲げ変形が主体となり、細胞壁が褶曲して細胞内腔が縮小される。気乾状態の荷重—変位曲線では、随所に荷重の低下が認められるが、これは、細胞内部での微視的な破壊によるものと考えられる。それに対し、飽水状態で変形された時の荷重—変位曲線は滑らかである。さらに変位を増すと、変形された細胞壁同士の接触が始まり、

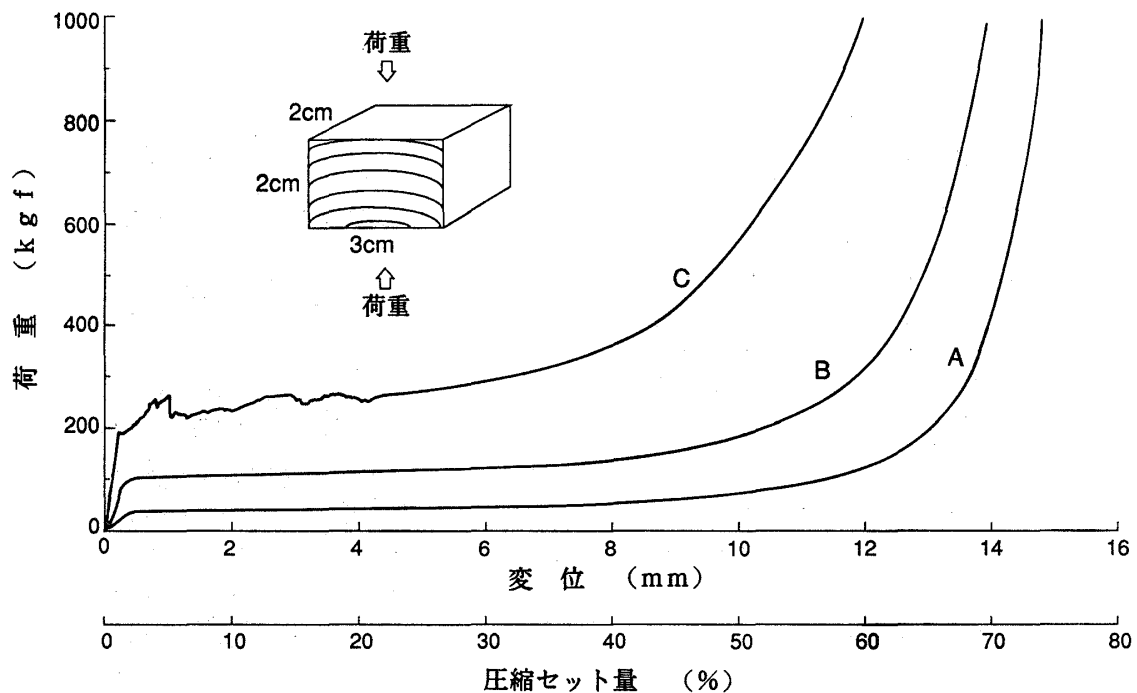


図3 横圧縮変形時の荷重と変位 (圧縮セット量) の関係

A : 95°C, 飽水状態, B : 20°C, 飽水状態, C : 20°C, 気乾状態

荷重は急激に上昇する。やがて、細胞内腔が消失し、デンスフィケーションと呼ばれる領域に至る。これ以上に変位を与えると、試験片は圧縮方向に対し直角方向に著しく広がり、顕著な破壊が生じる。

木材のような中空セル構造をもつ材料を横圧縮変形する時、細胞内腔が完全に消失する時の圧縮セット量 C_D は、

$$C_D = \left(1 - k \left(\frac{\rho}{\rho_s} \right) \right) \times 100 (\%) \quad (\text{式 1})$$

で近似され、材料の比重の増加に従い単調に減少することが知られている⁹⁾。ここに、 ρ は材料の比重、 ρ_s は細胞壁の比重（木材では約1.5）を示す。 k は圧縮方向に対し直角方向への材料の広がり具合を表す係数で、スギ材を放射方向に圧縮変形する場合約1.2である¹⁰⁾。比重0.30のスギ材について計算すると、 C_D は76%となり、実験結果にはほぼ一致する。実際の加工では、圧縮セット量をこれ以下にする必要がある。

スギ無処理材（A）、圧縮セット材（B）、回復処理材（C）を図4に示す。圧縮セット材に巨視的な破壊は認められず、年輪幅の減少から著しく圧縮変形されることが分かる。また、圧縮方向に対し直角方向への変形は少ない。乾燥によって一時的に変形が固定されている圧縮セット材は、水分と熱の作用で、ほぼ変形前の状態に回復する。回復処理材にも巨視的な破壊は認められない。この場合の圧縮セット量、回復セット量、回復度および残留するひずみは、それぞれ、68.2%、56.6%、85.9%、9.6%である。

図4に示す各処理材の横断面における走査型電子顕微鏡写真を図5に示す。木材細胞壁は、水分と熱の作用で十分に軟化されることによって、外力に対し破壊することなく滑らかに屈曲変形する。圧縮セット材では、細胞内腔が消失し、木材が圧密化されている様子が観察される。回復処理材の細胞壁には、わずかの残

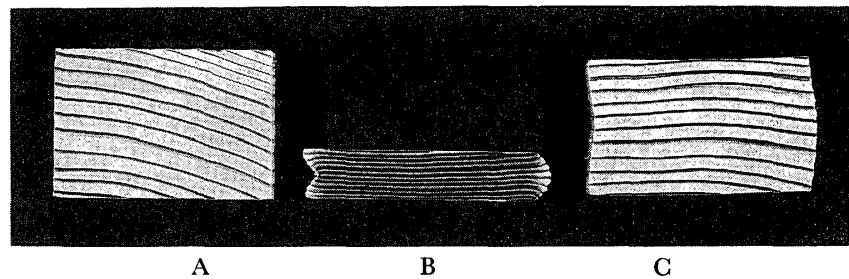


図4 スギ無処理材（A）、圧縮セット材（B）、回復処理材（C）

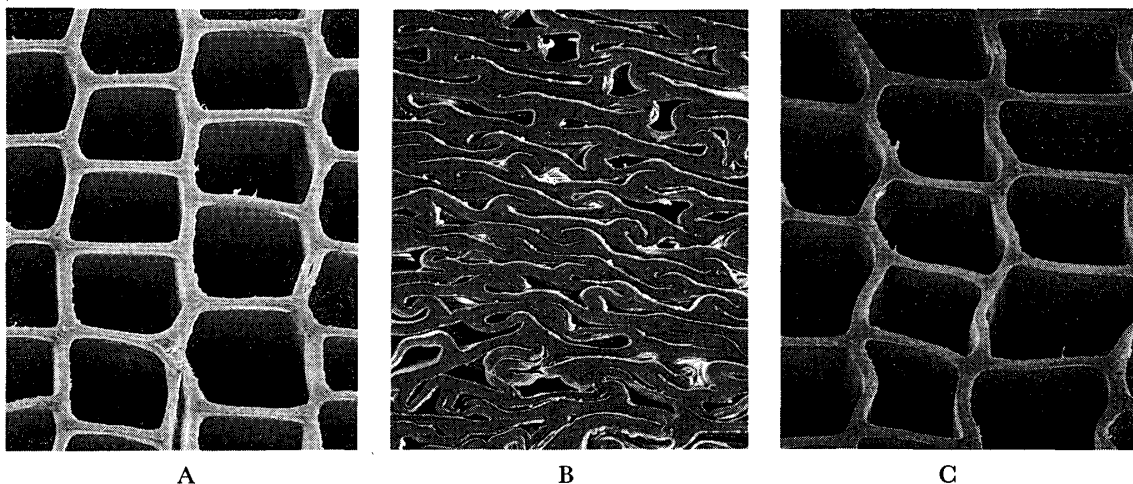


図5 スギ無処理材（A）、圧縮セット材（B）、回復処理材（C）の横断面の走査型顕微鏡写真

留変形が認められるが、水分と熱の作用で変形の大部分が回復し、細胞形態はほぼ元の状態に回復している。ここでも、巨視的な細胞壁の切断や剥離は認められない。

このような木材の水分と熱による軟化、乾燥による一時固定および水分と熱による変形の回復は、以下のように考えられている¹¹⁾。

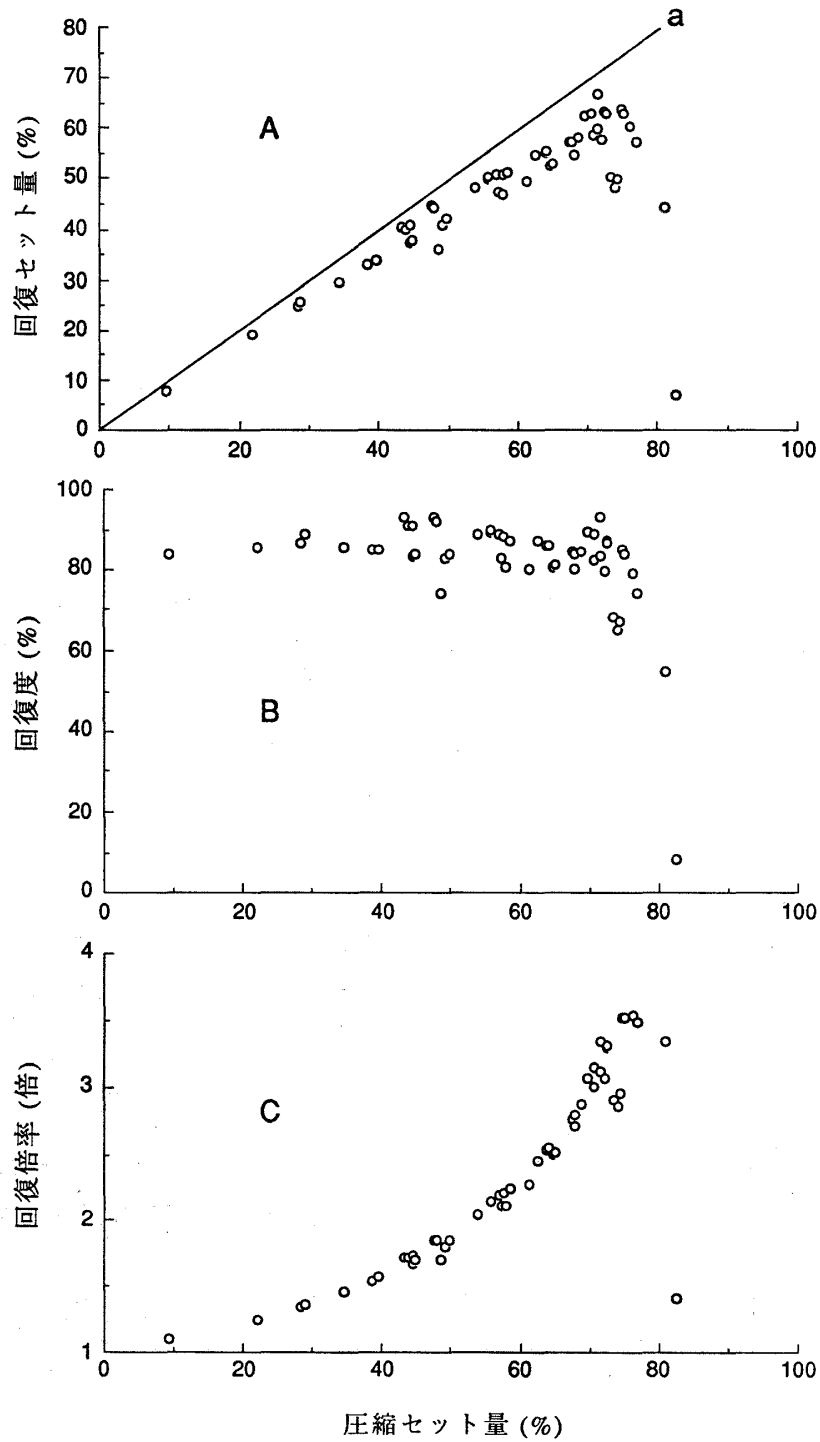


図6 スギ圧縮セット材の水分・熱回復

木材細胞壁は、セルロースからなるマイクロフィブリル・フレームワークが、リグニン、ヘミセルロースからなるマトリックス中に埋め込まれた構造をとっている。木材が高含水率状態でリグニンおよびヘミセルロースの熱軟化温度（77～128℃ および 54～124℃）¹²⁾ を越えて加熱されると、これらによって構成されているマトリックスは、ガラス状態からゴム状態へと変化し、セルロース結晶からなるマイクロフィブリルは、相互に変形が可能となる。この時、木材に外力を加えると、マイクロフィブリルは弾性的に変形する。変形した状態で、水分の離脱と温度の低下によってマトリックスが再びガラス状態に戻ると、マイクロフィブリルは弾性的に変形した状態のままで固定される。ドラインセット材は、環境条件が変化しない限り比較的安定であるが、再び水分と熱の作用でマトリックス成分が軟化すると、蓄積されていた弾性回復力によって、変形はほぼ加工前の状態にまで回復する。

スギ圧縮セット材を水分、熱およびマイクロ波照射によって回復させた場合の回復セット量を図6(A)に示す。図中の直線aは、圧縮セット材が圧縮処理前の寸法にまで完全に回復した時の回復セット量を示す。圧縮セット量80%までの範囲で、回復セット量は圧縮セット量の増加に従いほぼ直線的に増加する。プロットと直線との間隔が、残留するひずみを示す。残留ひずみは、圧縮変形過程において細胞壁内部に微細な破壊が発生し、蓄積された弾性エネルギーが一部解放されたことによるものと推定される。圧縮セット量が80%を越えて変形された試験片で、回復セット量が著しく低下するが、これらの試験片では顕著な破壊が認められる。破壊は、主に放射方向に発生している。これは、細胞内腔が消失する圧縮セット量を越えて変形され

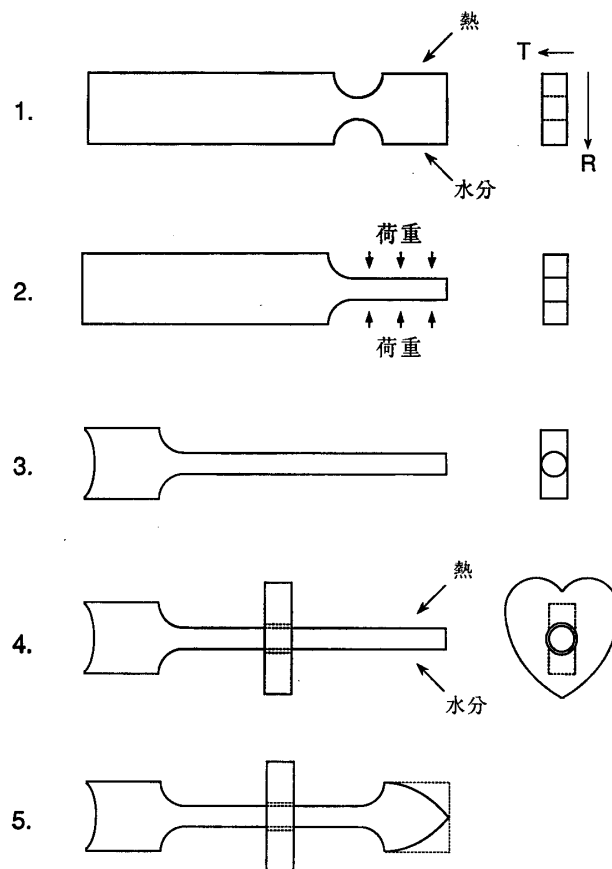


図7 キューピットの矢の製作手順

1：木取り・吸水工程 2：軟化圧縮・乾燥工程 3：矢羽根部・軸加工工程 4：回復加工工程 5：研磨工程

たため、圧縮方向に対して横方向のひずみが著しく増大し、これに伴って細胞間層が剥離したためと考えられる¹³⁾。破壊が始まる圧縮セット量は、式1で計算された C_D にほぼ一致する。

図6(B)に圧縮セット量と回復度との関係を示す。回復度は、圧縮セット量によらずほぼ一定値を示し、破壊が認められなかった試験片での平均値は約85%である。したがって、デンシフィケーションに至るまでの変形において、圧縮セット材は、圧縮変形の程度に関わらず、与えられた変形量の約85%が水分と熱およびマイクロ波照射の影響を受けて回復する。

図6(C)に、回復倍率、すなわち、回復処理材の圧縮セット材に対する圧縮方向の寸法比を示す。圧縮セット量の増加に伴い、回復倍率は急激に増加する。回復セット量と圧縮セット量が直線で回帰されることから、圧縮セット量をCとして、回復倍率は次式で示される。

$$\text{回復倍率} = 1 + r \frac{C}{100 - C} \quad (r=0.85) \quad (\text{式2})$$

したがって、比重が0.30のスギ材を用いる場合、式1から求められた理想的な圧縮セット量76%での回復倍率は、約3.7倍となる。

3.2 “キューピットの矢”の製作手順

上述の結果に基づいて、図1に示す“キューピットの矢”を試作した。図7にその製作手順を示し、詳細については図中の番号に従い以下に説明する。

ここでは、主に和歌山産のスギ材（比重：0.3）を用いて試作する場合の例を示す。

材料の選定については、式1から、比重が小さいものの方が、回復倍率が大きく得られると考えられる。しかし、バルサ材などの低比重材を用いて製作する場合、回復処理後の乾燥の際に著しい落ち込みを生じるものがあつた¹⁴⁾。また、放射組織が発達した樹種は、放射方向に圧縮する場合、座屈破壊が発生し易く、圧縮変形が困難となるものがあつた。

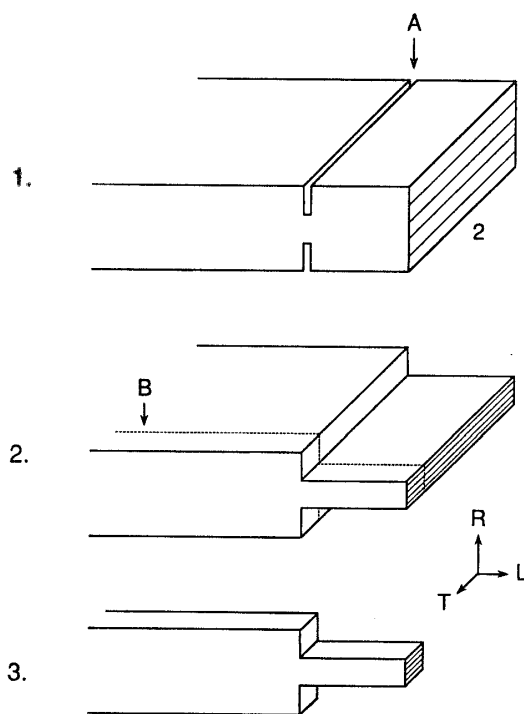


図8 溝加工およびやじり部の圧縮加工

A : 溝 B : 鋸びき線

したがって、製作に先立って、3.1に示したような予備実験を行い、樹種の選定や、圧縮セット量などの最適加工条件を決定することが望ましい。

(1) 木取り・吸水工程

まず、製作しようとする適当な寸法に木取りを行うが、材料に針葉樹材を用いる場合、圧縮変形がなるべく放射方向に行われるようにする¹⁵⁾。これは、放射方向に変形を与えた場合、細胞壁の比較的薄い早材部の細胞から変形され、無理なく圧縮変形できるのに対して、接線方向では、剛直な晩材部の細胞にも同時に変形が与えられるため、圧縮変形が困難となるためである。年輪傾角が45度程度までは製作が可能であった。

圧縮しようとする方向に対し、横方向の寸法が短くなると座屈破壊を起こし易くなる。そこで、実際の加工では、図8に示すように、予備実験より適当とされた放射方向：接線方向＝1：2の寸法を用いて圧縮変形し、セット後、縦びきして以下の加工を行った。このことにより、歩留まりを向上させることができ、同時に製作能率を向上することができた。

目的の部位のみを圧縮変形し、変形による破壊の進展を防止するために、圧縮する幅（やじり（図1A）の長さ）を残して溝（図8—1A）を入れ、圧縮部位を独立させる。溝の深さは、使用する樹種の最適圧縮セット量に基づくが、今回使用したスギ材では、安全率を加味し、放射方向寸法の約3分の1（圧縮セット量：60～70%）の深さを目安として両側に溝を入れた。また、圧縮部位を独立させる目的が果たせれば、溝の幅や形状は、結果に影響を与えなかった。この溝は、水を注入する際にも効果があった。

次に、圧縮しようとする部位に水を注入する。使用する樹種や、材料の大きさにもよるが、スギ材の場合、水中に浸漬するだけでも十分に水を注入することができた。また、水注入が困難な場合は、煮沸したり、マイクロ波を照射すると、短時間に水を注入することができる¹⁶⁾。なお、水注入前の材料が著しく乾燥している場合、急激な水分傾斜によって材が破壊する場合がある¹⁷⁾。このような場合には、あらかじめ材料を高湿度下に放置するなどの処置が必要となる。

(2) 軟化・圧縮変形・乾燥工程

やじり部位に水が十分注入された材にマイクロ波を照射して加熱する。この時、やじり部以外の部分が加熱されることを避けるため、それらの部分をアルミ箔で覆うと良い¹⁸⁾。樹種、製品の大きさ、含水率、マイ

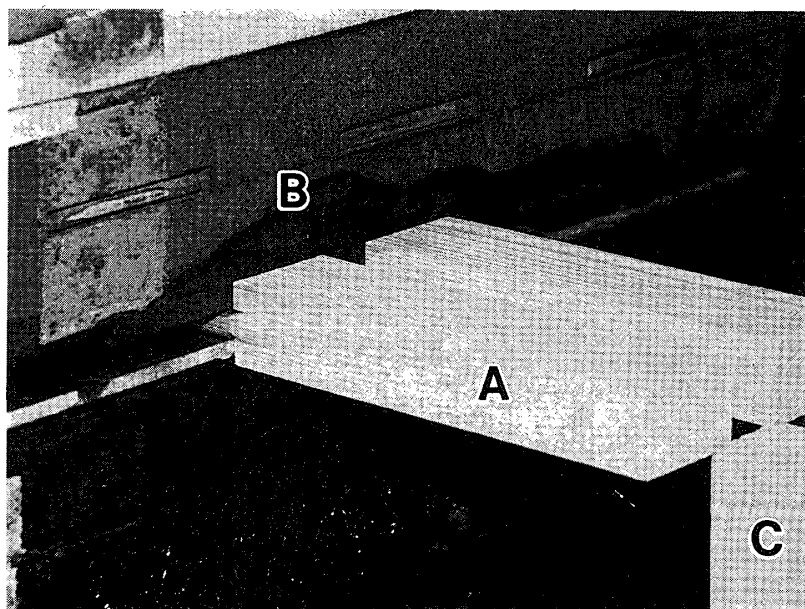


図9 熱圧縮成型機によるやじり部の圧縮加工
A：試験片 B：熱板 C：支持棒

クロ波出力、照射装置内での位置などが、マイクロ波照射時間に影響を及ぼすが、試験片を観察していて、木口面から水蒸気が吹き出す状態になれば、加熱は十分である¹⁹⁾。

加熱後、直ちに、熱圧縮成形機を用いてやじり部位のみを圧縮する(図9)。圧縮変形量を調節するために、熱板間に、圧縮目標寸法の金属製ディスタンプを設置した。圧縮変形の手速は、圧縮変形部位の温度が低下しない範囲で、できるだけゆっくり行うことが望ましい²⁰⁾。その後、所定時間熱板中に放置して乾燥を行う。乾燥によって材が収縮し、材料と熱板の間にすき間が生じるため、乾燥の完了は容易に把握できる。今回の加工では、熱板温度を80°Cに設定し、24時間放置して取り出した。低温乾燥の場合、温度や時間が回復量に与える影響は少ない。しかし、100°C以上で高温乾燥すると、木材成分が加熱処理によって化学変化を生じ、回復量が減少するため望ましくない²¹⁾。また、乾燥の際に、木材が自重で変形する場合があります、その後の加工が困難となった。そこで、材料の一端を写真に示すように棒で支持した(図9Cおよび図2参照)。

(3) 矢羽根部・軸加工工程

圧縮セットされた材を熱圧縮成形機から取り出し、矢羽根部(図1D)を成形し、やじり部と軸(図1C)を円柱状に加工する。今回は、大略の形を帯のこで加工し、細部は糸鋸、ベルトサンダー、サンドペーパー等を用いて加工した。切削および研磨時の摩擦熱によって圧縮変形部位が回復することがあるので注意を要する。

(4) 回復処理工程

あらかじめ作っておいたハート型(図1B)の中央部に、ボール盤を用いて(3)で加工した軸が通る大きさの穴をあける。ハート型には、矢と異なる樹種を用い、繊維方向を異なせると、一つのブロックから削り出したのではなく、それぞれが独立したものであることがよく分かる。

穴に矢を通した後、圧縮部位に再び水分と熱を与えると、圧縮部位はほぼ圧縮前の形状に回復し、この段階で矢はハート型から抜けなくなる。実際の加工では、圧縮部位を水中に浸漬して煮沸した後、マイクロ波を照射して回復処理を行った。この時、軸部が水分の浸透で膨潤すると、ハート型を破壊することがあるの

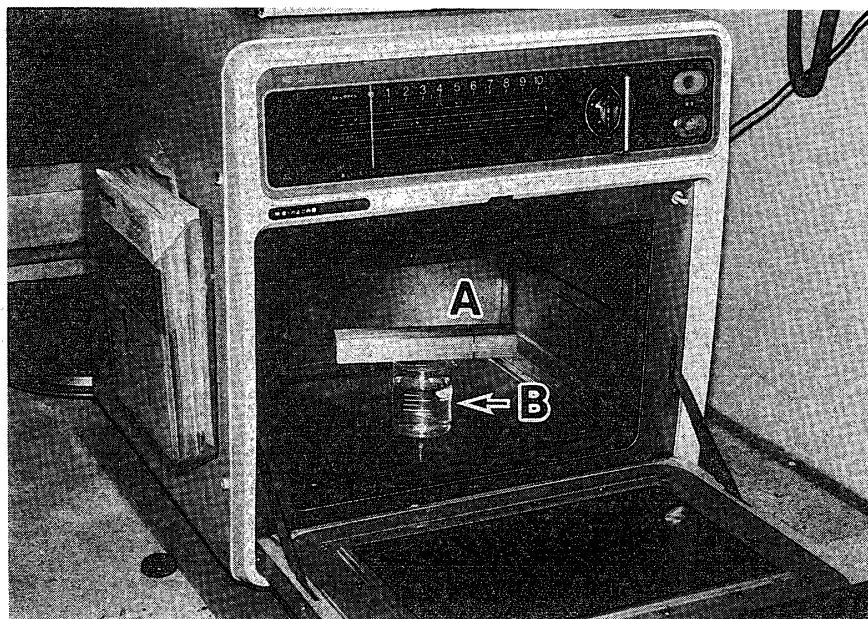


図10 家庭用電子レンジによる加熱
A：試験片 B：水を満たしたビーカー

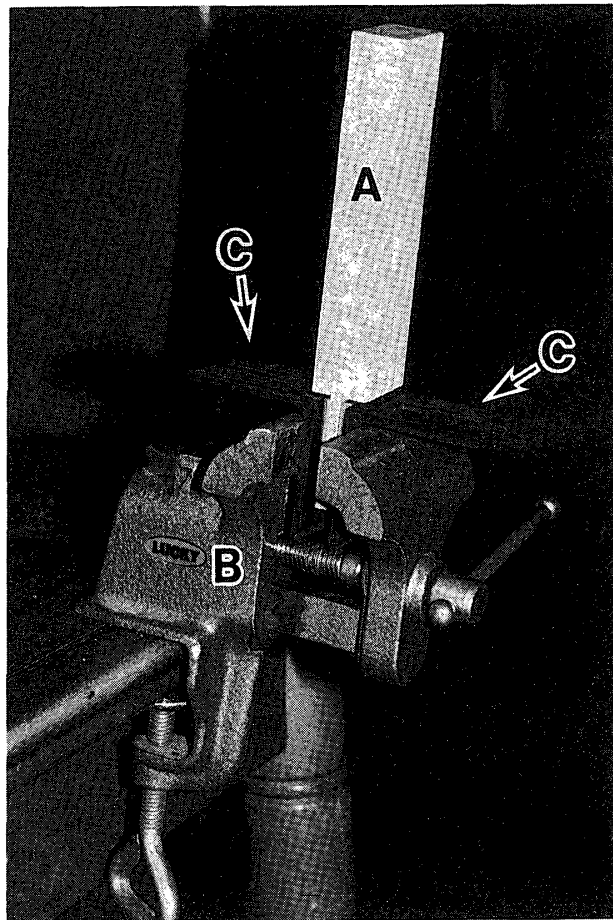


図11 小型万力によるやじり部の圧縮加工

A：試験片 B：小型万力 C：治具

で注意を要する。また、煮沸時の水蒸気やマイクロ波照射によって、製品が破壊されたり汚染されることを避けるため、ハート型は加熱部から隔離し、矢羽根部付近に固定し、矢じり部以外の部分はアルミ箔で覆うと良い。

(5) 仕上げ工程

最後に矢じり部を形成し、全体をベルトサンダーやサンドペーパーで研磨する。スギ材は、早材と晩材で硬さや摩耗性が著しく違うため、研磨は困難であった。

今回の試作では、主に、図2に示す出力 2.4 kW の大型マイクロ波照射装置（図中A）と油圧式熱圧縮成形機（図中B）を用いて行ったが、写真10, 11に示すような家庭用電子レンジ（出力：600 W）と小型の卓上万力を用いても製作が可能であることが確認された。電子レンジを使用する際には、レンジを保護するために、水を少量入れたビーカー（図10B）をレンジ中に挿入することが望ましい⁷⁾。これは、余分なマイクロ波エネルギーを吸収するためのものである。小型の万力では、圧縮できる面積が小さいため、図11Cに示すような補助口金を用いて、矢じり部位の圧縮を行う必要がある。この時、材温が低下することを避けるため、万力や口金をあらかじめ加熱しておくが良い。

4. 結 言

ドラインセットされた木材が、再び元の形状に復元するという、いわば形状記憶材料としての木材の性



図12 試作例

質を利用して、ハート型の中央にあけられた小さな穴に、本来、通るはずのない矢を通した製品を試作し、基礎的なデータから製作手順を確立した。また、身近な道具を用いても製作可能なことが確認された。

今回、試作した“キューピットの矢”は、軟化→圧縮変形→一時固定→回復という木材の塑性加工を応用した製品の一例にすぎず、この他にも様々なデザインが考えられるだろう。図12は、スギの板材に焼き印を押した後、変形を与え、瓶の中で回復させたものである。著者らは、これらの新しい加工法を利用した教材が、授業に展開されていくことを期待している。なお、一部の高等学校では、実習用教材としての可能性が検討されつつある²²⁾。

また、本研究の一部は、日本化学会主催化学大博覧会（1989年8月）において発表、演示を行い、好評であった。

文 献

- 1) 山田 正：「木質環境の科学」，海青社（1987）
- 2) 中戸莞二：「新編木材工学」，養賢堂（1985）
- 3) 今村博之，ほか5名編：「木材利用の化学」，共立出版，p. 284（1983）
- 4) 則元 京，ほか3名：日本レオロジー学会誌，Vol. 8，166-171（1980）
- 5) M. NORIMOTO and J. GRIL: *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, **24**(4), 203-212 (1989)
- 6) 則元 京：KGK ジャーナル，Vol. 16, No. 4, 16-17 (1981)
- 7) 今田晃一，青木 務，則元 京：日本産業技術教育学会誌，Vol. 29, No. 3 (1987)
- 8) 有馬孝礼，ほか3名：静岡大学農学部演習林報告，No. 11, 89-96 (1987)
- 9) J.L. GIBSON and F.M. ASHBY: *Cellular Solids*, Pergamon Press, p. 143 (1988)
- 10) 井野辺陽：京都大学農学研究科修士論文，p. 61 (1992)
- 11) 飯田生穂，則元 京：木材学会誌，**33**(12), 929-933 (1987)
- 12) D.A.I. GORING: *Pulp Paper Mag. Can.*, **64**, T-517 (1963)
- 13) 則元 京，林 昭三：昭和61年度科学研究費補助金研究成果報告書（研究代表者：野瀧 正，佐伯 浩），p. 55-63 (1987)
- 14) 林 和男，寺沢 真：木材学会誌，**20**(7), 306-312 (1974)
- 15) 井上雅文：京都大学農学研究科修士論文，p. 441 (1990)
- 16) 池上元一，ほか3名：昭和62年度技術開発研究費補助事業成果普及講習会用テキスト第3章，p. 2 (1988)

- 17) 井上雅文, ほか 3 名 : 木材学会誌, **37**(3), 234-240 (1991)
- 18) M. INOUE, et al.: *Mokuzaigakkaishi*, **36**(11), 969-975 (1990)
- 19) 森 光正, ほか 6 名 : 木材工業, **39**, 600-603 (1984)
- 20) 井野辺陽 : 京都大学農学研究科修士論文, p. 37 (1992)
- 21) 井上雅文, 則元 京 : 木材研究・資料, No. 27, p. 31-40 (1991)
- 22) 例えば, 山内弘一 : 堺市立工業高校, 山田希仁 : 鳥取県立智頭農林高校 (1991)