

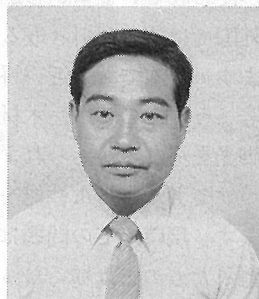
木材の新しい物理・化学加工

— 実用化を目指した最近の研究動向 —

京都大学木質科学研究所教授

則 元

みきと
京



はじめに

木材の利用には、二つの異なる立場があります。一つは、木材の化学的成分を利用する立場で、他は、木材の物理的性質を利用する立場です。木材の細胞壁は、主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンから構成されています。

成分の利用では、木材の成分を分別したり、あるいはそのまま用い、付加価値の高い有用な物質や材料とします。

性質の利用では、木材の細胞壁のもつ極めて精巧な複合構造から現れてくる性質を有効に活用することに努めます。木材を細分化し、それを再生して木質材料にしたり、あるいは他材料と複合化します。また木材を物理、化学処理し、新しい材料を開発したり、高い性能をもつ木材に変換します。

木材の成分利用

◎成分の分別利用

成分利用のためには、分別する技術の確立が必要です。木材から成分を分別することは、非常に困難かつ煩雑です。分別を容易にする技術の一つとして、爆砕法が注目されています。木材の削片を耐圧容器に入れ、ボイラーで発生させた高压の水蒸気(230℃, 28気圧程度)で数分間処理した後、急激に常圧に戻しますと、削片は爆裂し、繊維状になります。この状態になると、成分に化学変化が起り、成分が分離し易くなっています。これを水で洗浄しますと、ヘミセルロースの一部が溶出し、アルカリまたはアルコールで洗浄します

と、リグニンの一部が溶出してきます。残りがほぼセルロースです。分離したヘミセルロースについては、低分子化して、甘味料にすることができます。リグニンは、炭素繊維として利用する研究が進んでいます。セルロースは、発酵させ、糖やアルコールに変換できます。以上は分別利用の一例ですが、外にも付加価値の高い物質を得る試みが多くなされています。

◎成分の総体利用

木材は、微視的から巨視的構造に至るまで、精巧な複合構造をもっています。したがって、木材の成分を総体として利用する場合でも、これらの構造を破壊する必要があります。そのためには化学処理が有効ですが、二つの方法が注目を集めています。一つは可塑化です。木材を高度に化学処理しますと、熱で融けるプラスチック材料に変わります。もう一つは、液化です。木材を反応性の高い薬品と一緒に加熱しますと、木材成分の一部が分解を起こしながら薬品と反応して、木材は液体になります。木材を可塑化や液化したもものから、フィルム、発泡体、成形品、接着剤、炭素繊維などがつくられています。そのフィルムは、石油からつくられるものに比べて、少し劣ります。しかし、石油からのプラスチックは安定すぎて廃棄が困難な場合があります。その点、木材からのプラスチック(ベンジル化木材)には生分解性があります。また、ポリカプロラクトンと混ぜると、光分解性、生分解性ともに向上することが知られています。発泡体は、物を運搬する際の緩衝材として利用されていて、現在、発泡スチロール

が使われています。しかし、その廃棄が問題で、外国では業者が引き取るか、使用禁止となっています。日本でも、近い将来そういう状況になるでしょう。その時に、木材からつくられた発泡体が脚光を浴びるかもしれません。接着剤や成形品についても、十分な性能をもつものがつくられています。現時点での問題は価格ですが、それもかけ離れたものではなくなっています。

木材の性質を活かした利用

◎新しい木質材料

木材の卓越した構造から現れてくるすばらしい性質を利用する立場の一つとして、木質材料があります。木材をいったん小さくして欠点を除いたり分散させたりして、材料に再生しますと、寸法の大きなものができ、性質のばらつきが少なくなるため、信頼性が高くなります。また、効率よく生産することができます。木質材料に用いる構成要素の中で、最も小さいものは繊維です。もう少し大きな要素が削片ですが、その形状、大きさによって色々な名称がついています。さらに大きい要素が単板や挽き板です。これらの要素を用いて木質材料を製造する場合に、要素を1軸方向に配列させるか、2軸方向に配列させるか、ランダムにするかの方法があります。要素の大きさ、形状と要素の配列の仕方の組み合わせにより、色々な木質材料ができます。要素の配列方法などを設計することにより、求める性能の材料を調整できるので、これらの木質材料を総称して、エンジニアリングウッドと呼びます。これに加えて、木質材料どうしあるいは他材料の複合があります。

木質材料には、面材料（ボード）と軸材料があります。面材料とは、住宅などの壁面、床面、天井面に用いる材料で、それには、ファイバーボード、パーティクルボード、合板などがあります。軸材料とは、住宅などで柱や梁などに用いる材料で、集成材などがあります。現在、面材料の目標は、合板の性能を超えるものを開発することです。合板は、ファイバーボードやパーティクルボードに比べて、強度や寸法安定性に優れています。

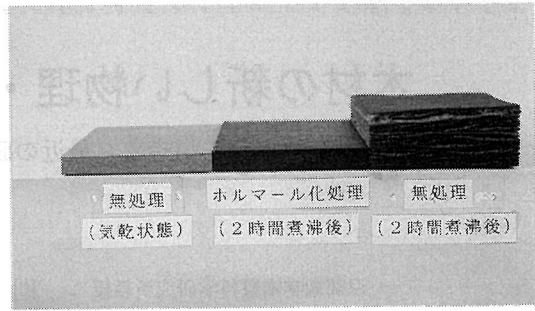


図1 無処理およびホルマール化処理MDFの煮沸後の比較（京大農学部 湊 和也氏提供）

軸材料の目標は、製材の性能を超えるものを開発することです。集成材などは、既に製材の性能を超えているといえます。木質材料開発の方向は、面材料と軸材料を区別せずに、大きい寸法の材料の製造に向かっています。それを薄く切れば面材料に、角柱に切れば軸材料になります。パララムなどは、その一例といえます。これは、単板を短冊状に切って一軸方向に並べ、マイクロ波加熱によって、それらをフェノール樹脂で接着したものです。もう一つは、化学処理や複合化により、木質材料の機能性を高める方向です。たとえば、図1に示すように、MDF（中比重ファイバーボード）を気相ホルマール化処理したものは、煮沸しても大きく膨れたり崩壊したりしない、合板以上の寸法安定性をもつものになります。パーティクルボードとグラファイトを複合したものは、耐火性や電磁波シールド性が付与されます。

◎木材の成形加工

木材を水で煮沸して軟化させ、圧縮、乾燥しますと、圧縮木材ができます。しかし、この圧縮木材を再び煮沸しますと、ほとんど元の形状に回復します。形状記憶合金に似ています。図2は、圧縮前、圧縮固定後、変形回復後の走査電子顕微鏡写真です。パーティクルボードなどの木質ボードが水を吸収すると、厚さ方向に膨張し、乾燥しても寸法が元に戻らないのは、製造過程で圧縮、固定されていた変形が回復するためです。もし、圧縮した状態で木材の変形を永久に固定することが可能なら、寸法安定性のよいボードが製造できずし、それ以外に、色々な木材の加工が可能とな

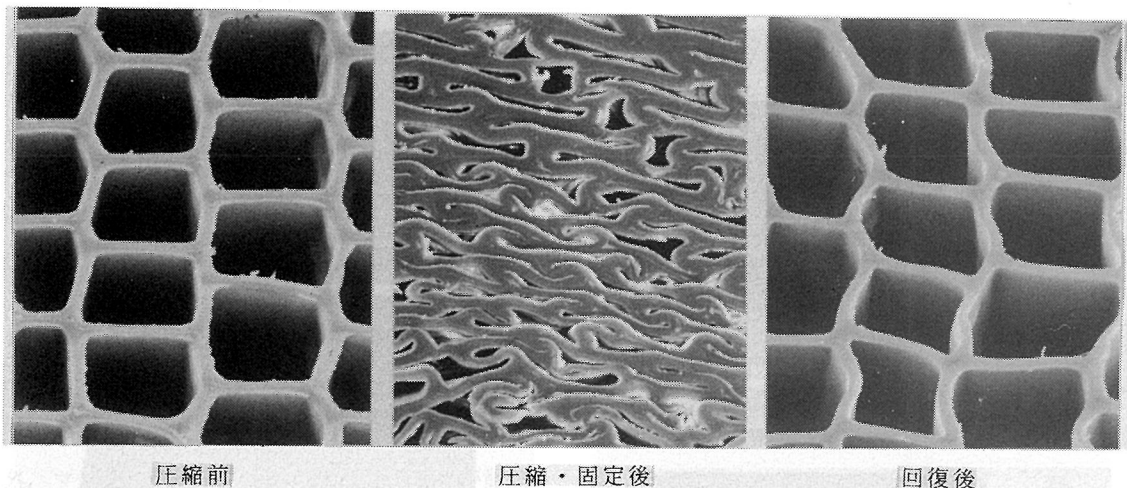


図2 木材の圧縮変形と回復の走査電子顕微鏡写真

ります。図3には、ヒノキのハートにスギの矢が刺さったものを示しています。くりぬいたものでも、張り合わせたのでもありません。これは、先ほど説明した変形が復元する現象を利用した加工の一例です。どのようにして作ったかを考えてみて下さい。

木材の変形を永久に固定するには、次の三つの条件の少なくとも一つが満足されなければなりません。

1 変形を戻そうとする力をなくする。

(内部応力の緩和)

2 水をあまり吸収しないようにする。

(細胞壁の疎水化)

3 分子の間に架橋を作る。

(分子架橋)

1と2の合わさった事例として、熱処理と水蒸気処理があります。木材を圧縮してから熱処理または水蒸気処理しますと、分子が切断され、内部応力が減少します。また、ヘミセルロースが化学変化して、疎水性になります。熱処理では、1と2によって、変形が固定されると考えられます。たとえば、熱処理では、180℃で20時間、水蒸気処理では、180℃では8分間、200℃では1分間処理しますと、変形は完全に固定されます。2と3の合わさった事例として、木材の細胞壁の中に合成樹脂を注入し硬化させることや、化学処理することがあげられます。樹脂として、水溶性の低分

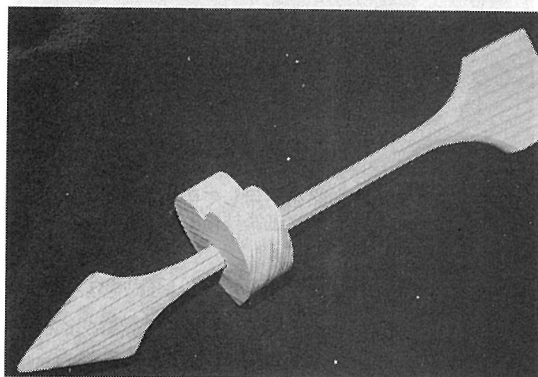


図3 木材の圧縮変形の回復を応用した加工
(京大木質科学研 井上雅文氏提供)

子フェノール樹脂を用いるのが効果的です。フェノール樹脂が疎水性を有すること、わずかではありますが、木材成分分子間に架橋構造を生成させることによるものです。MG(マレイン酸・グリセリン)処理は、木材細胞壁を疎水化するとともに、木材成分分子間に架橋を形成させる化学処理で、曲げ木の固定に効果的です。3の事例として、気相ホルマール化処理があります。ホルマール化処理の応用例として、MDFの寸法安定化があります。

次に、成形の例を示します。曲げ木を利用した製品には、椅子、照明器具、玩具、楽器、樽などがありますが、いずれも、曲げ木の両端が固定されて用いられないと、変形してきます。曲げ木が永久固定できると、その利用の範囲がおおいに広

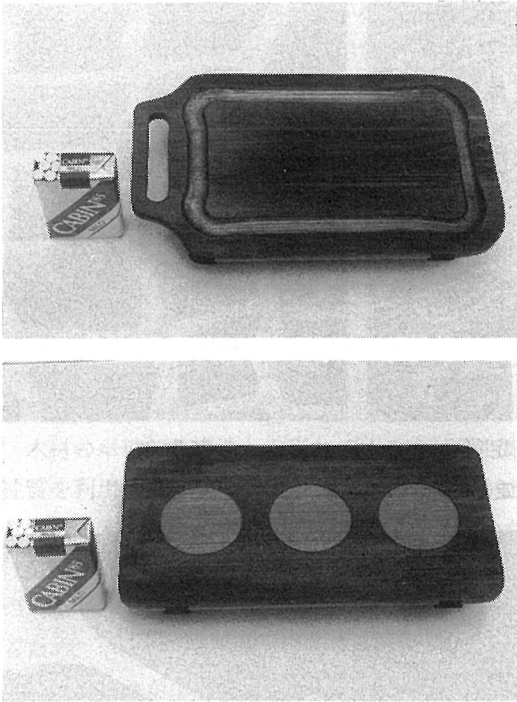


図4 マイクロ加熱を利用して平板加工した竹の菓子台（兵庫県立工業技術センター 森 光正氏提供）

がるものと思われます。図4に、兵庫県立工業技術センターで開発されたマイクロ加熱による竹の平板加工の例を示します。この場合、永久固定化処理のかわりに、埋め木によって変形が固定されています。図5は、ヒノキの圧縮熱処理木材です。これには熱処理してあり、煮沸しても変形は回復することはありません。図6には、スギの辺材に低分子フェノール樹脂を含浸し、永久固定した圧縮木材を示しています。柔らかいスギがコクタンのような高級材に変化します。フェノール樹脂を使うと茶褐色に着色しますが、低分子メラミン樹脂を使いますと、色の変化はほとんどありません。図7に、丸太を角材に成形した写真を示しています。これには、現在二つの技術があります。一つは、奈良県の林業試験場で行われている方法で、マイクロ波で加熱してから四方から圧縮し、乾燥固定後、熱処理するものです。もう一つは、岐阜大学で行われている方法で、生材または気乾材の丸太を、プレス内蔵した圧力缶に入れ、高圧水蒸気で処理する過程で圧縮するものです。この

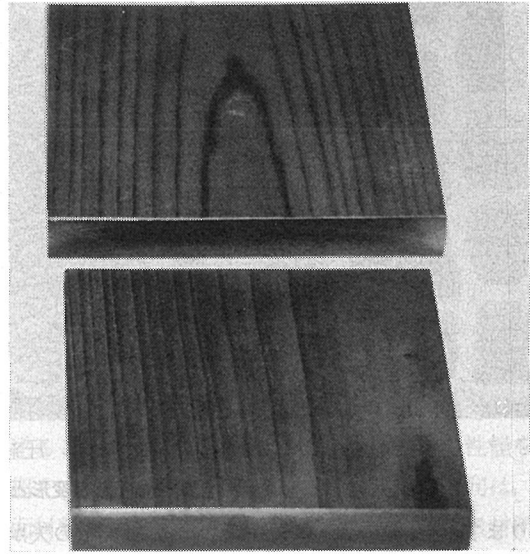


図5 ヒノキの圧縮熱処理木材

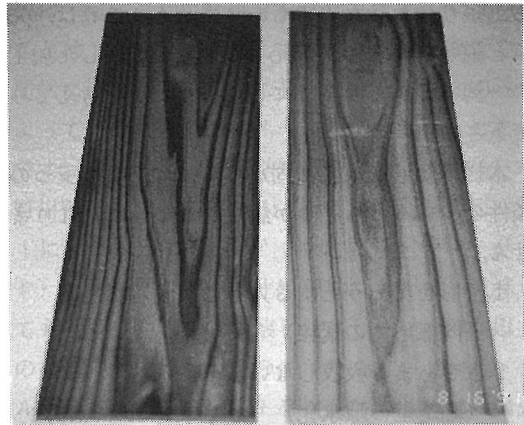


図6 スギの低分子フェノール樹脂含浸圧縮木材
右：無処理材，左：処理材

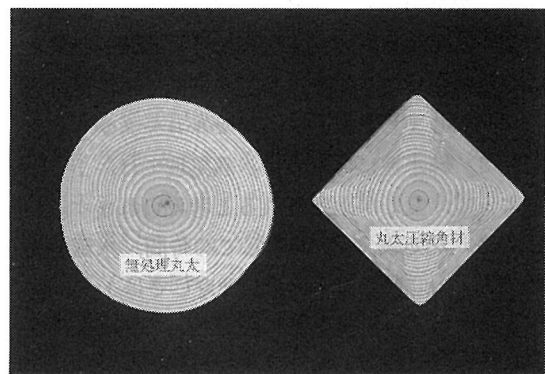


図7 マイクロ波加熱を応用した丸太の角材への成形

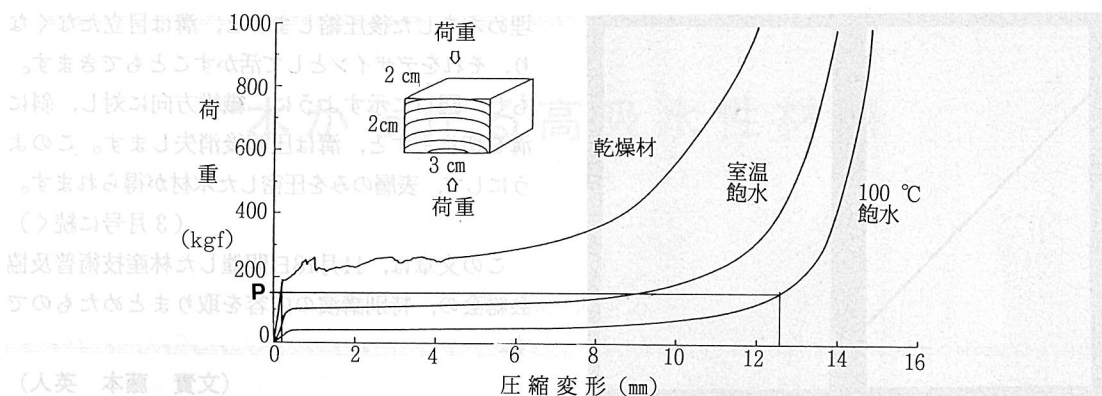


図8 木材の放射方向の圧縮荷重—変形曲線

外、マイクロ波加熱を用いた表面加飾加工が静岡県工業技術センターで、マイクロ波加熱を用いた反狂製材の矯正が新潟県工業技術センターで行われています。最後に、軟質材の表面圧密化の研究を紹介します。図8に、木材を放射方向に圧縮した時の圧縮力と変形の関係を示しています。木材が乾燥している状態では、圧縮力を大きくしないと変形は生じませんが、水分と熱で木材が軟化している状態では、小さい力で大きく変形します。表層に水を注入した木材にマイクロ波を照射して、表層を軟化した状態で、図中で示したPの荷重で圧縮したらどうなるでしょうか。乾燥した部分は、ほとんど変形しませんが、軟化した部分は、非常に大きく変形します。また、乾燥した部分は、弾性限度内の変形ですので、力を除くと復元してしまいます。このように、木材の表層のみを軟化して、力の大きさを選んで圧縮しますと、台板は変形せずに、表層のみを圧密化できます。ではどうやって木材の表層のみに水を入れることが可能でしょうか。繊維方向で通水性が大きいことに注目し、製材の表面の繊維方向と直角方向に適当な間隔で幅3mm以下、深さ5mm以下の溝を加工します。その面を低分子フェノール樹脂水溶液に浸しますと、正確に溝の深さまで水溶液が含浸されます。この製材にマイクロ波を照射した後圧縮し、加熱して樹脂を硬化させたものの表層と、台板の境界部の電子顕微鏡写真を図9に示しています。水溶液が注入された層のみが圧縮され、台板は変形していません。図10に示すように、溝に

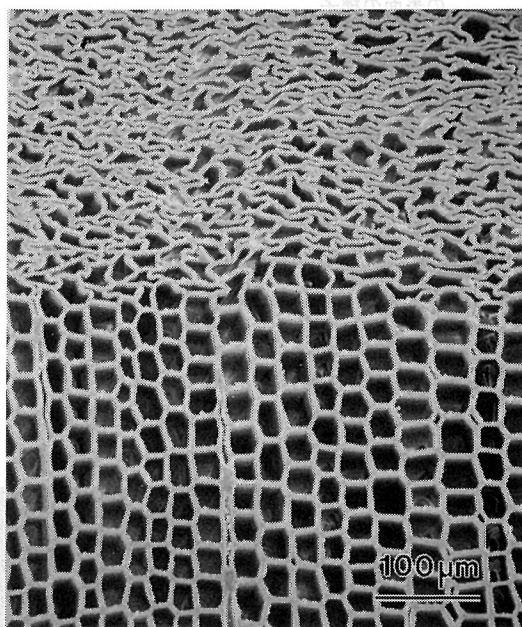


図9 表面圧密木材の表層と台板境界部分の走査電子顕微鏡写真

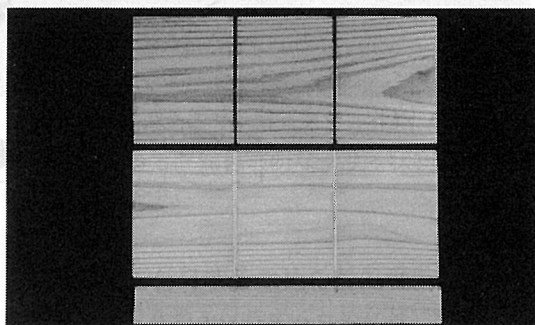


図10 低分子フェノール樹脂を用いた表面圧密木材
上：溝を埋めない場合（上面より見た様子）
中：圧縮時に埋め木した場合
下：埋め木した場合の側面の様子

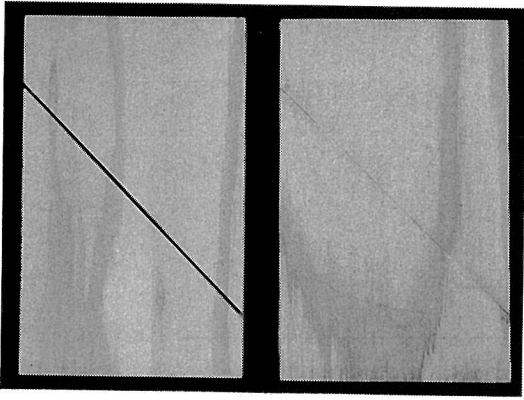


図11 斜めに溝加工した場合の圧縮前（左）後（右）の表面の様子

埋め木をした後圧縮しますと、溝は目立たなくなり、それをデザインとして活かすこともできます。もし、図11に示すように、繊維方向に対し、斜に溝を切りますと、溝は圧縮後消失します。このようにして、表層のみを圧密した木材が得られます。

（3月号に続く）

この文章は、11月18日開催した林産技術普及協会総会の、特別講演の内容を取りまとめたものです。

（文責 藤本 英人）

