

高速摩擦による転写技術を用いた木材表面の超平滑化処理と凹凸形状の制御

東京学芸大学自然科学系 大谷忠
島根大学総合理工学部 中井毅尚
秋田県立大学木材高度加工研究所 足立幸司

1. はじめに

木材は軽くて丈夫、適度な弾力性、さわり心地・香りが良い等の特徴があり、持続可能な生物材料であるため、古くから建築や家具等の材料に利用されてきた。このような生物材料は、生長の過程で自然界のエネルギーを利用して木部形成を図るため、上記のような特徴を自然に形成することができるバイオ材料としての特性をもつ。

このようなバイオ材料の利用に関しては、生物としての特徴を活かし、人工的な材料にその特徴を模倣するバイオミメティクス研究が行われている。バイオミメティクス研究は、古くは自然界にある繊維材料を化学的に模倣する研究に始まり、最近では機械的な機構を模倣する研究や生物の生長機構を材料に模倣する研究等が行われている。

木材は上記のような優れた利用上の特徴に対して、多量な水分吸収に伴う寸法安定性の悪化等の弱点もある。本研究では、このような木材が本来持つ優れた利用上の特徴を活かしながら、その他の生物材料の特徴をさらに追加して弱点を補い、持続可能な材料開発に焦点を当てたバイオ材料にバイオミメティクスを施す研究の可能性について検討する。

本研究では、木材の表面を平滑な金属工具で高速摩擦することによって、細胞壁から構成される木材の組織を熱で軟化し、ごく薄い表層部を圧密化しながら平滑化する技術を開発してきた。このような木材の表層組織をわずかに変質させ、上記のバイオミメティクス研究による知見を活かし、撥水性等の多様な機能性を木材表面に発現させることを目標にしている。

本研究では、木材に撥水性等の機能性を発現できるようにするため、木材表面を限界まで平滑に加工する技術を追求することによって、木材表面にどのレベルまで凹凸形状を形成させることができるかについて検討した。このような木材表面における超平滑化処理の技術を追求することによって、木材表面の凹凸形状を制御する技術を確立することを本研究の最終的な目標とする。

2. 実験方法

2.1 高速摩擦の条件

高速摩擦による転写技術の方法に関しては、木材加工における製材、二次加工等の産業技術にお

ける加工機械の現状を考慮し、技術移転の可能性が高い方法として、回転系の機構を利用して、木材へ工具形状を転写する技術を用いることにした。

図1は本実験における摩擦条件の詳細を示す。本実験では、木材試験片が高速回転する工具へ一定の速度で移動しながら、試験片の表面を摩擦する装置を用いた。試験片と工具の接触条件は、図1に示すように、木材試験片を工具に対して押し付けた時、試験片の圧下量 t と工具の回転数 R 、回転している工具に木材試験片を送る速度 f を制御しながら実験を行った。

工具に使用する材料は、材質が炭素工具鋼(SK3)で、表面の凹凸形状が異なる工具を特注に作製し、それらの工具を実験に用いた。高速摩擦の実験は、回転している工具に対して、木材試験片を送る上向きの方式で行った。

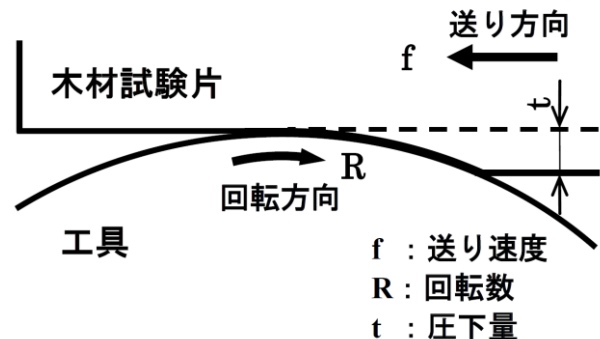


図1 本実験における摩擦条件の詳細

2.2 木材の温度測定と形状転写の評価

本研究では、木材加工における回転系の機構を利用しながら、極力加工時におけるエネルギー投入量を少なくするため、木材と工具が接触する時に生じる熱を利用して、木材の表面組織を軟化させると同時に平滑化処理を行う方法を用いた。

そのため、加工時に木材中に発生する温度変化を赤外線サーモグラフィにより撮影し、この時の熱画像を得た。得られた熱画像から、温度分布の状態を詳細に把握するため、木材内部の温度変化は等温線による温度分布図により評価した。

また、本研究では木材表面を平滑化処理する方法として、工具表面に形成された異なる凹凸形状を木材表面に転写させる方法を用いた。凹凸形状の転写は、転写率 Tr を用いて評価した。転写率は圧延加工における転写の評価方法を参考にして、式(1)を用いて、高速摩擦による試験片表面への凹凸形状の転写率を評価した。

$$Tr(\%) = \frac{((Ra)_{wood})_{AF} - ((Ra)_{wood})_{BF}}{(Ra)_{tool} - ((Ra)_{wood})_{BF}} \times 100 \quad (1)$$

ここで、転写率を評価する際の表面粗さのパラメータには、算術平均粗さ Ra の値を用いた。また、 $Ra_{(wood)BF}$ は摩擦前の木材表面における算術平均粗さ、 $Ra_{(wood)AF}$ は高速摩擦後における木材表面の算術平均粗さ、 $Ra_{(tool)}$ は工具表面の算術平均粗さを示す。

3. 結果および考察

3.1. 高速摩擦による木材の温度制御

木材のスプルー試験片を用いて、平滑な表面をもつ金属工具で木材表面を高速摩擦した時の木材中の温度変化について調べた結果の例を図2に示す。

図2の結果のように、木材試験片における表層部近傍は、高速摩擦によって、 100°C 以上の高温域に達するとともに、圧下によって、細胞組織の変形が生じており、これらの熱の影響と組織の変形

は、木材組織の異方性の影響を受けた。また、木材試験片内部における熱の影響は、摩擦面における木理斜交角および繊維傾斜角が異なるいずれの条件においても、圧下に伴う断面組織の影響層に比べて、十分深い範囲にまで及んでいた。

上記の結果のように、高速摩擦によって生じる木材の温度変化は、木材と工具が接触する時の圧下量や送り速度、工具の回転速度によって変化する。

したがって、今回の回転系の機構を利用して工具形状を木材表面に転写する場合には、摩擦によって生じる熱で木材組織を軟化させ、木材表面の凹凸形状を変化させる方法を用いることができる。また、このような熱の発生を制御する場合には、回転系の機構における摩擦の条件を制御する必要がある。

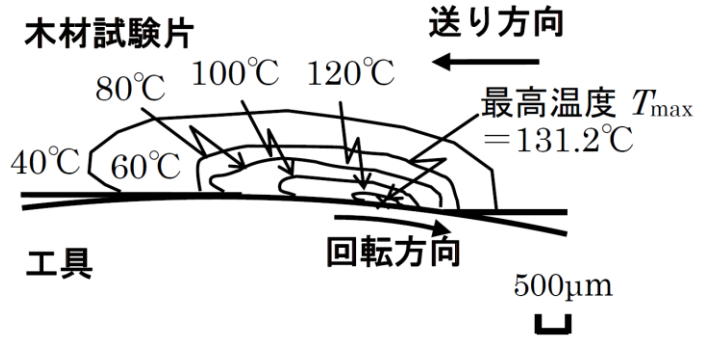


図2 木材中の温度測定の一例

3.2. 木材表面における凹凸形状の転写技術

木材表面に撥水性等の新しい機能性を発現させるためには、表面に形成されている本来の木材組織の凹凸と何らかの加工によって形成された凹凸が複雑に入り交る表面の状態を規則的な凹凸形状に変化させる必要がある。

そこで、本研究では上記のような高速摩擦によって生じる熱の影響に加えて、高速条件で摩擦が生じる機械的な作用によって、木材より硬質の金属工具に付与された凹凸形状を木材表面に転写させる方法について検討した。

図3は異なる凹凸形状をもつ金属工具を用いて、木材のスプルス試験片の表面を高速摩擦した時、摩擦前後における木材表面の粗さについて調べた結果例を示す。

前述した式(1)を用いて、高速摩擦による木材表面への凹凸形状の転写率を求めた結果、金属工具の粗さが粗いほど（図3 T₁ 工具）、木材表面への転写率の値は増加する。

凹凸形状が細かい、より平滑な金属工具を用いた場合（図3 T₂ および T₃ 工具）には、木材表面への転写率が低下するが、より滑らかな工具表面を用いることで、摩擦後に平滑な木材表面が形成される。

上記の結果のように、木材表面への凹凸形

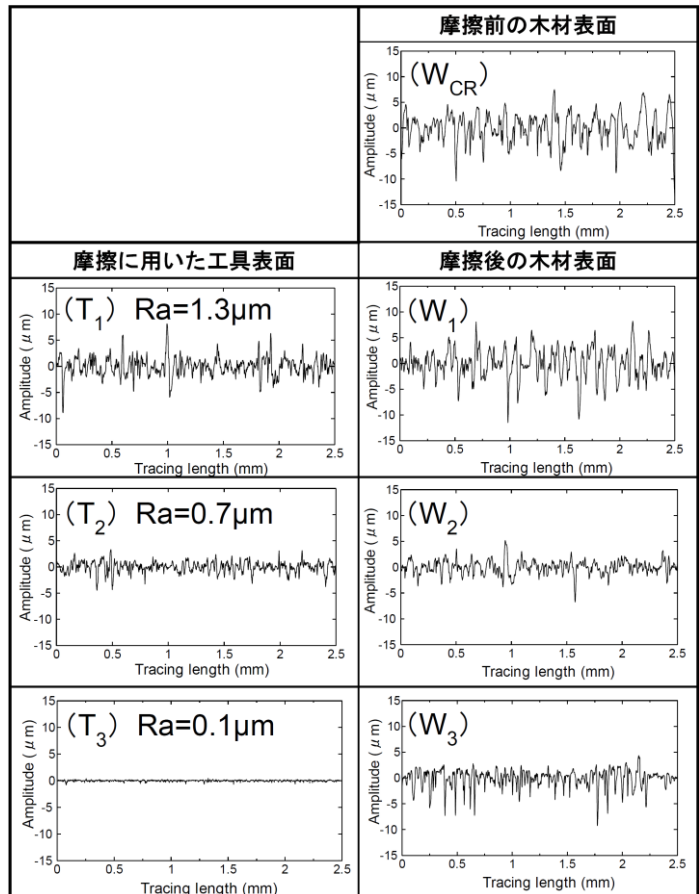


図 摩擦前後における木材表面の粗さの変化

状の転写性について調べた結果から、高速摩擦によって木材表面の凹凸形状を制御するためには、摩擦する金属工具の凹凸形状と摩擦前における木材の表面凹凸の組み合わせに注目する必要があることがわかった。

そこで、金属工具と木材表面の凹凸形状の組み合わせに注目し、その組み合わせの条件から形状転写性について検討した結果を図4に示す。

図4の結果のように、工具表面から木材表面への形状転写性は、互いの凹凸先端における曲率半径の比が影響しており、曲率半径の比が1、すなわち互いの凹凸形状が近い状態では転写性が高くなる。

これに対して、曲率半径の比が1より小さくなる場合（木材表面の凹凸が金属工具の表面の凹凸に比べて著しく大きくなる場合等）には、凹凸形状の転写性が低下することがわかった。

形状転写性	高 (形状転写しやすい)	低 (形状転写しにくい)
接触条件 模式図		
曲率半径 の比 ($Cr_{\text{工具}}/Cr_{\text{木材}}$)	≈ 1	$\gg 1$

図4 工具と木材の組み合わせにおける形状転写性

3.3. 超平滑化処理と凹凸形状の制御

以上の形状転写性を考慮し、木材表面を限界まで平滑に加工する技術を追求することによって、金属工具の表面に付与した凹凸形状を木材表面にどのレベルまで転写できるかについて検討した。

その結果、凹凸形状の異なる金属工具を工夫しながら組み合わせることで摩擦処理することによって、木材のスプルス表面を細胞構造の組織を完全に消失するレベルまで平滑にすることができた。また、この平滑な表面は、従来の機械加工において形成された表面粗さでは到達しないナノレベル（サブミクロンレベル）の平滑な表面が形成できることがわかった。

4.おわりに

以上の結果から、当初目的とした木材表面を限界まで平滑に加工する技術を追求することによって、木材表面にどのレベルまで凹凸形状を形成できるかについて検討した結果、従来の木材の機械加工では実現できないサブミクロンレベルの表面粗さまで木材表面を平滑にできる技術を見出した。

以上のような木材表面における超平滑化処理の技術を活用することによって、今後は機能性の発現レベルに合わせて、木材表面の凹凸形状を制御することによって、バイオ材料にバイオミメティクスを組み合わせる新しい表面処理技術を見出していくことが次の課題となる。

謝辞

本研究を進めるに当たり、日本木材学会江間忠研究助成をはじめとする助成をもとに成果を得ることができた。ここに、記して感謝の意を表す。