

要旨

工芸用木材の自動研磨システムを構築する際に必要となる基礎情報を得るために、多関節ロボットに把持させる研磨工具の運動特性を実験的に検討した。また、ミズナ材の一定荷重研磨実験を行うことによって研磨作業の進行に伴う研磨能率の変化を追跡し、更に研磨布紙トポグラフィを測定して研磨挙動を解明した。

1. 緒言

木工芸品の木地塗装を行う場合には、切削工程により生ずる木材表面部の圧縮繊維が塗料溶剤を吸収することによって起きあがる「毛羽立ち」現象を防ぐために、その前工程として研磨作業が行なわれる。意匠曲面を有する木材の研磨は専ら手作業で行われているのが現状であり、これが製品コストの減少、生産性向上の妨げとなっている。また、作業時に発生する粉塵や振動工具の長時間使用が作業者に及ぼす悪影響など作業環境も好ましいものではない。本研究では多関節ロボットに研磨工具を保持させた力制御による木材の自動研磨システムの構築を目指しており、本報ではその基礎的研究として研磨工具の特性を実験的に検討した。

2. 実験方法

図1に基礎実験のために構築した平面研磨システムの概要を示す。研磨装置のベッドには工具研削盤を使用し、砥石ヘッド部を取り外してその上にステッピングモータ駆動の垂直軸を搭載し垂直軸に研磨工具を固定した。工具の上下位置制御はパソコンで行い、1パルスあたりの移動量を $2.7\mu\text{m}$ に設定した。また、工作物テーブル(Y軸)の駆動にはACサーボモータを用い、テーブルに固定したミズナ材の柁目面を長手方向に一方研磨した。研磨荷重は歪みゲージ式動力計を兼ねた工具保持具によって検出し、研磨荷重をパソコンでモニタリングしながら工具位置をフィードバック制御した。

図2に研磨工具の構造を示す。採用した工具は作業現場で曲面の研磨に汎用されているポータブルタイプで、圧縮空気を駆動源としてゴム製研磨パッドが振動する構造を有している。このパッドのマジックテープ部に研磨布紙を密着させることにより研磨作業を行った。表1に実験条件を示す。

3. 研磨工具の特性

図3は研磨作業に携わるパッド先端部の運動軌跡を測定した結果である。図3(a)は偏心軸を手で回転させて求めた静的軌跡、図3(b)は実際の振動研磨時における軌跡を示す。図より、研磨布紙上の砥粒は静的にはパッド幅中心に対して線対称の運動、すなわち、パッドの左右では楕円運動を行いパッド幅中心部では円運動をするが、実際の振動研磨時にはその位置にかかわらず直線往復運動に近い軌跡をとることがわかる。この運動軌跡の違いは、パッドを保持しているフレキシブル軸の剛性が静的な場合と動的な場合で異なるために生ずるものである。研磨作業を行う場合には、以上の結果を参考にして、パッド振動方向が木目と一致する方向に工具を保持した。

図4は、振動する研磨工具を一定速度で鋼板に押し込んだ際の工具移動量と押し付け荷重の関係調べた結果である。この場合、研磨工具と接触する鋼板の表面は研磨によって後退することがないため、工作物の接触剛性を除いた工具系だけの弾性挙動を求めることができる。図において荷重6N付近までに認められるばね定数(4.2N/mm)はパッド先端部の弾性(ゴムパッドおよびマジックテープ部)によって与えられる値であり、それ以降に現れるばね定数(28.6N/mm)はパッド固定部および工具支持部の弾性を反映している。荷重制御研磨を行う場合には、図4の結果を用いて設定研磨荷重に到達するまでの時間の短縮化を図った。例えば設定荷重が

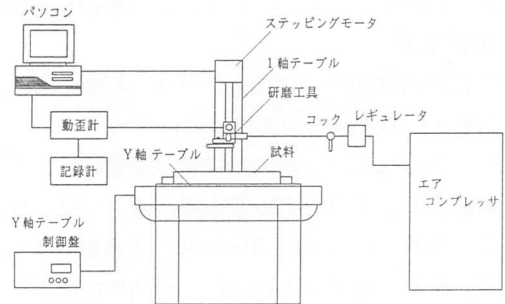


図1 力制御研磨実験システム

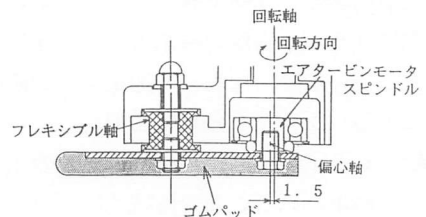


図2 研磨工具構造図

表1 研磨実験条件

研磨工具	空気圧駆動式ポータブルサンダ 空気供給圧力: 0.35MPa (無負荷時工具振動数 190Hz)
研磨布紙	研磨パッド幅: 40mm 工具傾き角: 3° 熔融アルミナ研磨布紙 粒度: #240 接着剤: レジン/グルー 目づまり防止加工あり
工作物	ミズナ材の柁目面 (400×80×50mm)
研磨荷重	20N
送り速度	0.6m/min
研磨距離	2.1m

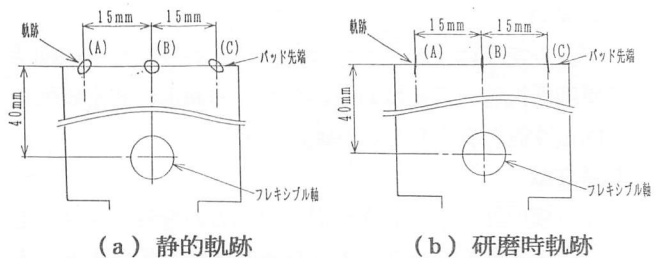


図3 研磨パッド先端部の運動軌跡

20Nの場合、工具と工作物の接触を動力計で検知した時点で研磨工具を1.3mm(図4のA点)だけ下降させ、その後研磨荷重を参照しながら工具移動を徐々にいき設定荷重(20N)に到達させるようにした。

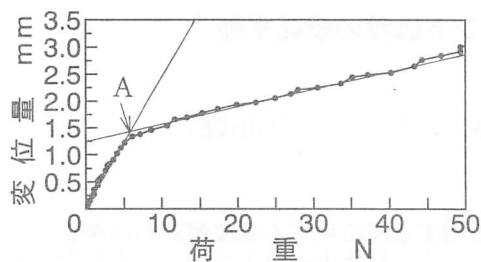


図4 工具弾性挙動

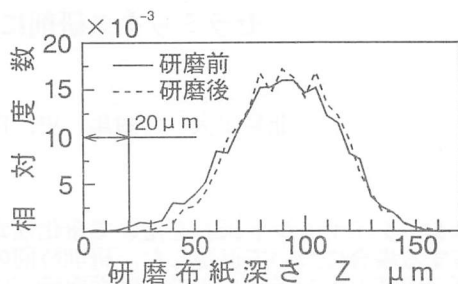


図7 研磨前後のトポグラフィ変化

4. 実験結果

4.1 研磨能率

図5は、研磨前後における研磨幅（工具幅）方向の工作物断面プロファイルを電気マイクロメータで測定し、同一個所を重ね合わせた例である。図中ハッチングで示す研磨面積を単位研磨幅あたりに換算した値を平均研磨深さと定義し、研磨作業の経過に伴う変化を追跡した。

図6は、研磨荷重20Nの場合について平均研磨深さを研磨距離に対してプロットした結果である。図より、平均研磨深さは研磨距離の増加に伴い減少していくが研磨距離1.5m付近を経過すると10 μ m付近に落ち着くことがわかる。

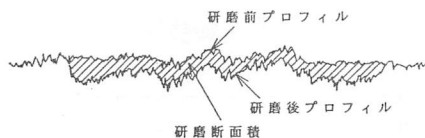


図5 工作物断面プロフィール

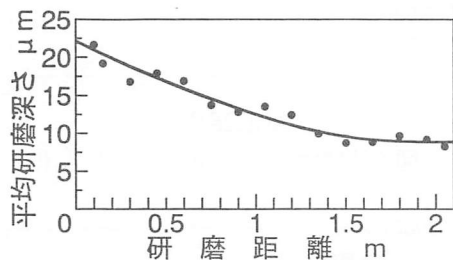
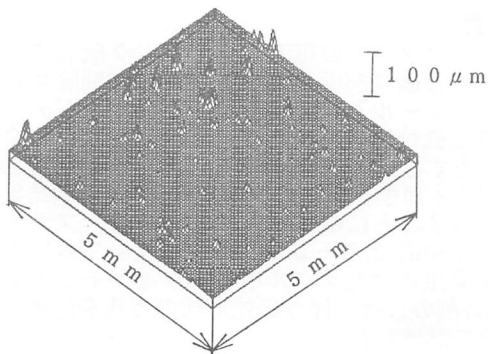
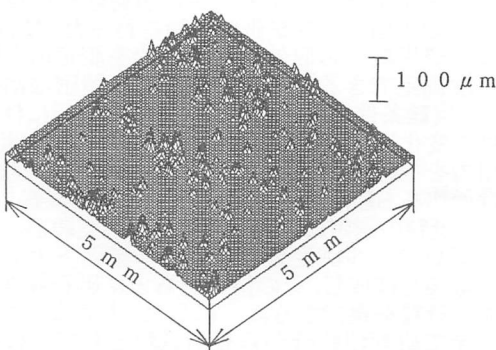


図6 研磨距離に対する平均研磨深さの変化



(a) 研磨前



(b) 研磨後

図8 研磨前後の作業面トポグラフィ比較

4.2 研磨布紙トポグラフィ

図7は、研磨布紙の作業面トポグラフィ(5mm四方)を3D触針法により測定し、研磨前および研磨終了後のプロフィール高さの分布を比較した結果である。図より、研磨作業によって研磨布紙は20 μ mだけ摩耗したことがわかる。一方、負荷曲線から求めたチップポケット容積率は53.5%から48.6%に減少していることがわかった。

図8は、研磨布紙深さ40 μ mまでの領域についてそのトポグラフィを鳥瞰図で表示し、研磨前後を比較した結果である。図より両者の切れ刃数は大幅に異なっていることがわかる。すなわち、研磨前に3.44個/mm²だった切れ刃面積密度は研磨終了時には9.44個/mm²まで増加している。図9は、この結果を詳細に検討するために、研磨布紙深さ方向の切れ刃密度を求めた結果である。両者とも研磨布紙の深部に入るにしたがい切れ刃密度の増加する傾向を示しているが、研磨終了時のほうが作業面表層部に切れ刃の集中していることがわかる。以上の結果だけでは、このトポグラフィ変化が砥粒の摩滅を主体としたものなのか砥粒脱落も存在するのか判断できないが、図6に得られた研磨能率の低下が作用砥粒数の増加による砥粒1個あたりの研磨深さの減少によってもたらされたものであることを説明することはできる。

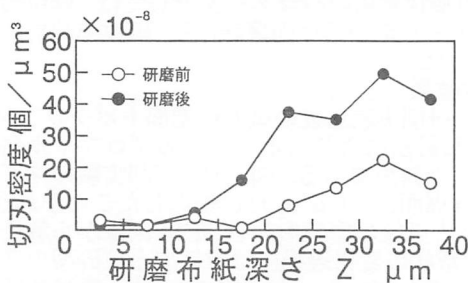


図9 研磨布紙深さに対する切れ刃密度の変化

5. まとめ

木材の研磨実験を行った結果、研磨作業の進行に伴って研磨能率および研磨布紙トポグラフィが著しく変化することがわかった。今後、荷重プログラミングによる安定研磨加工を実現するために、研磨能率に及ぼす荷重の影響を検討する予定である。

謝辞：本実験を遂行するにあたり、有益な助言および研磨試料のご提供をいただいた北見工業技術センター伊藤廣氏に謝意を表します。