

天然研磨材の研磨特性 (I)*

田中千秋**・塩田洋三**・古野毅***・高橋徹**

Chiaki TANAKA, Yozo SHIOTA, Takeshi FURUNO and
Akira TAKAHASHI

Characteristics and Machinabilities of Natural Abrasive Materials

1. はじめに

木工芸品を多量に生産する場合の最終工程はサンドペーパーで研磨の後、各種塗料を塗装する方法が一般的である。しかし伝統工芸品に代表される高級品を製作する工程では伝統的な手法が依然として採用されている。すなわちサンドペーパーで研磨の後サメ皮、猪牙、鹿角粉、貝、砥石、トクサ、うづくり、ムクノキの葉等の天然研磨材を用いる手法で、これらを用いて木材の表面を研磨すると、特徴として光沢が得られる。

唐木を研磨する場合、トクサやムクノキの葉または砥石を用いる手法が古くから用いられており、コクタン(黒檀)を算盤の枠として用いる場合、研磨の最終工程にムクノキの葉が今日でも使用されている。またコウキ(紅木)やカリン(花梨)を三絃の棹、胴として用いる場合も同様で、研磨の後ウルシによる塗装が施される。

このように伝統的な研磨手法は今日まで存続しているものの衰微の傾向が強くなり、その上ムクノキの葉等の天然研磨材は入手し難くなり出している。それ故その手法の特性や効果を早急に解明しておくことは肝要と考える。そこで本報では主としてムクノキの葉の表面構造と、その研磨特性を唐木を用いて検討した結果について報告する。

2. 実験の方法

唐木材としてカリン (*Pterocarpus indicus* Willd.), コウキ (*Pterocarpus santalinus* Linn.), コクタン (*Diospyros* sp.) を用い、それぞれの樹種の3断面(柾目、板目及び木口面)について検討した。カリン、コウキ、コクタンの含水率、比重はそれぞれ、12.1%, 0.89,

10.3%, 1.13, 及び10.6%, 1.19であった。

チップソーで30×15×10mm(長さ×幅×厚さ)の寸法に木取りした後、研磨面を粒度#100の研磨紙で鋸断面のナイフマークが消失するまで研磨し、この研磨面を本実験の研磨の素地とした。各種研磨材で柾目及び板目面に対しては繊維方向と平行に、木口面では年輪に対して垂直方向に手動で研磨した。手動の1往復を研磨回数1回とした。研磨材は人工の研磨紙及びムクノキ (*Aphananthe aspera* Planch.) の葉、ウマズラハギ (*Navodon modestus*) の皮、トクサ (*Equisetum hiemale* L. var. *japonicum* Milde.) である。研磨紙の粒度は#100, 220, 400及び800、いずれも耐水性で、材質は溶融アルミナである。研磨紙による研磨は当板を利用する方法を用いた。

ムクノキの葉は乾燥状態で保存されている。研磨時に水で湿潤状態にし、葉に柔軟性を与えた後、親指で葉を押さえて手動で研磨するのが通常である。葉の裏面は葉脈が突出しているため、研磨にはザラザラとした感触のする表面が使用される。本実験もこれらの方法を用いた。ウマズラハギの皮はサメ皮同様、皮の表面はザラザラとした感触を与え古くより研磨材として使用されている。研磨材として使用するには十分乾燥させる必要がある。本実験では、剥ぎ取られた皮を平らな当板に引張状態で固定、乾燥させ、使用した。トクサは乾燥状態のものを水で湿潤させた後、カッターで円筒を縦方向に切り、平らに展開し、再び乾燥後平らな当板に接着剤で固定して使用した。

天然研磨材の表面構造、研磨特性と研磨された木材表面の形態、粗さ状態および光沢度を波長分散法によるX線分析装置を装備した走査型電子顕微鏡、触針式の表面粗さ計(触針先端半径3~5μm, 測定圧0.5g), FFTアナライザー及びデジタル変角光沢計を用い検討した。表面粗さは異なる3箇所を研磨方向と平行に触針を

* 本報の一部は第33回日本木材学会(1983年4月、京都)で報告した。

** 木材加工学研究室

*** 附属演習林

移動させ(移動距離 10mm)測定し、十点平均粗さ (Rz) で表示した。表面粗さのパワースペクトルを測定する場

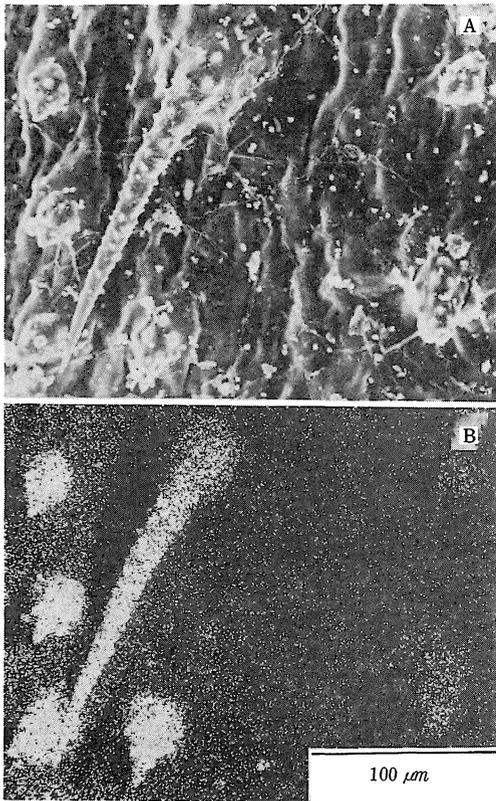


Fig. 1 Electron micrographs of the leaf surface of Mukunoki (*Aphananthe aspera* Planch.)
A : secondary electron image.
B : Si-K α X-ray map corresponding to A.
Note : high concentration of silicon on needle-like hairs and processes.

合、次式により測定長 (L) を決定した。

$$L = F \times 1024 \times \frac{1}{2.56} \times 1/f$$

F : 触針の送り速度

f : 周波数分析レンジの設定値

本実験では $F=0.1\text{mm/sec}$, $f=20\text{Hz}$ と設定したので、 L は 2mm である。したがってパワースペクトルの横軸の第1点は 2mm , M点では $2/M\text{mm}$ のピッチを表示し、縦軸は粗さを表示する。鏡面光沢度の測定では光束の入射, 受光角 ϕ_i を 20° , 45° , 60° および 75° と変更させ, 光束の入射方向を研磨方向と平行および直角の場合について検討した。その結果 20° では値がほぼ一定 ($2 \sim 3\%$), 75° では大きくなりすぎることがわかった。さらに光束の入射方向が研磨方向と平行な場合の方が常に光沢度は大きくなることもわかったので, 光束の

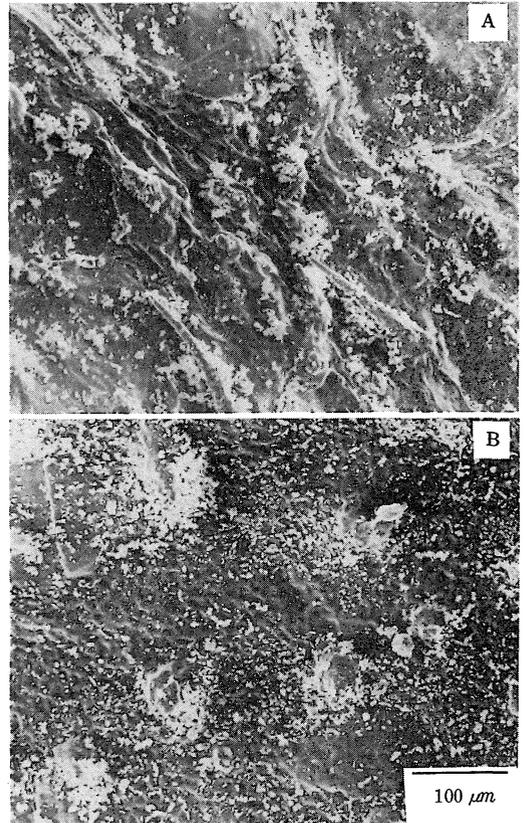


Fig. 2 Surfaces of leaves of Mukunoki after polishing 50(A) and 400(B) times. Note that needle-like hairs and processes were taken away by polishing.

入射方向が研磨方向と平行な場合の結果を梅津³⁾や野口²⁾と同様 $\phi_i=45^\circ$ について示すことにした。

3. 実験の結果

3.1 天然研磨材の表面構造

ムクノキの葉表面の走査型電子顕微鏡による2次電子像とX線像を図1に示す。両者は同一個所を撮影した写真で、大・小2種類の剛毛(突起)が認められる。葉の含有元素を蛍光X線分析法により調べた所、ケイ素、カルシウム、カリウムがそれぞれ5.9, 1.5, 1.4%程度存在し、ケイ素の存在量が多いことがわかった。さらにX線像の観察によりケイ素は剛毛部に著しく存在することもわかった。図2はコクタンを50回と400回研磨後のムクノキの葉表面の状態を示す。研磨回数が増大により、剛毛が観察されなくなり、剛毛部周辺に切屑が集中しているのが観察される。これらの観察よりムクノキの葉の剛毛が研磨に関与し、剛毛に著しく存在するケイ素化合物

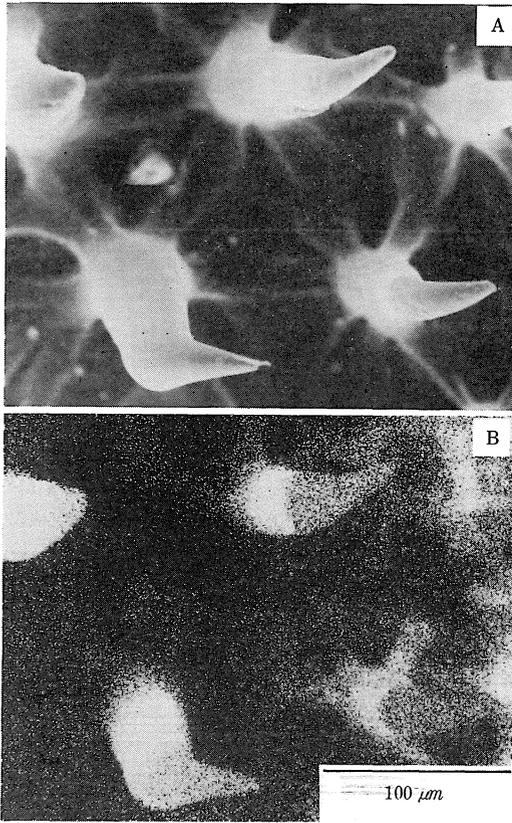


Fig. 3 Surfaces of integument of Umazurahagi (*Navodon modestus*)
 A : secondary electron image.
 B : Ca-K α X-ray map corresponding to A.
 Note : high concentration of calcium on spinules of integument.

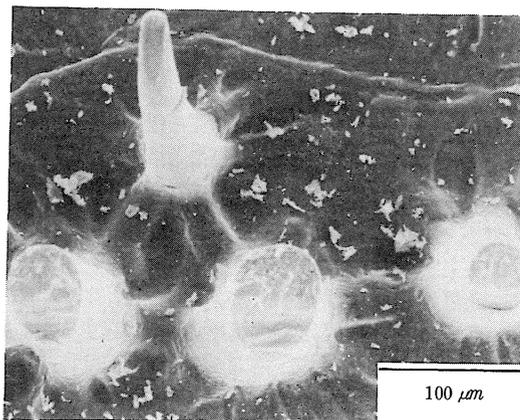


Fig. 4 Surface of integument of Umazurahagi after polishing, showing that spinules were broken away.

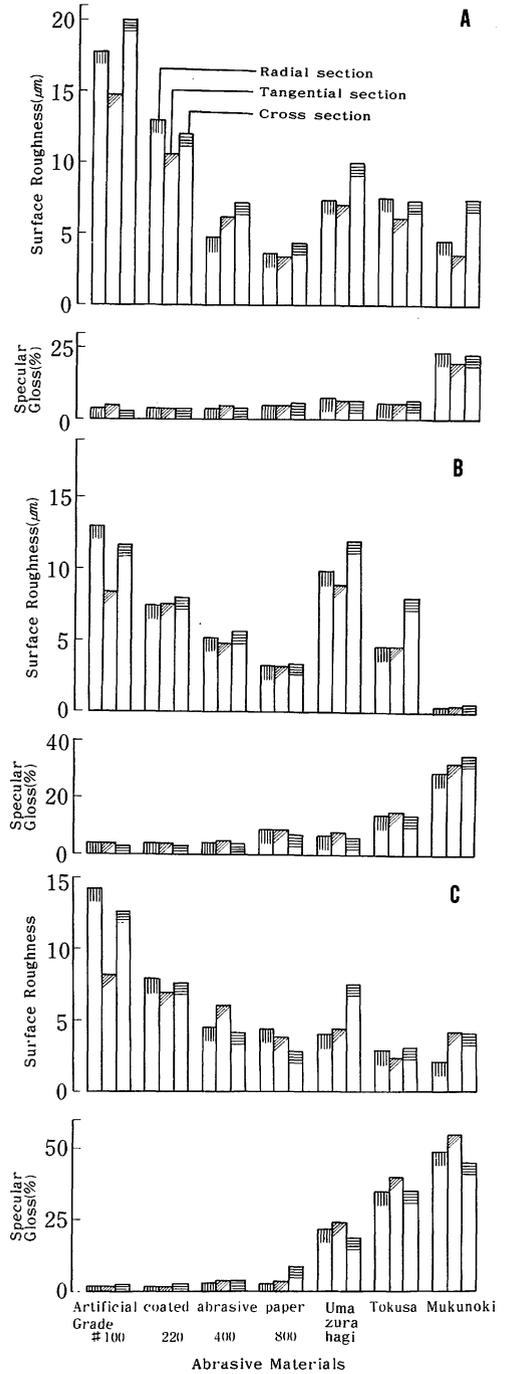


Fig. 5 Relationship between abrasive materials, and surface roughness and glossiness of padauk, red sander and ebony.
 A : padauk, B : red sander, C : ebony.

(ケイ素)が珪粒の役目をしていると判断できる。またムクノキの葉の研磨材としての寿命は葉の破損、剛毛の消失等により400回前後であると判定した。

図3はウマズラハギの皮表面の2次電子像とそれに対応する部分のX線像を示す。X線分析の結果突起物に集中して存在する元素はカルシウムであることが判明した。図4はコクタン研磨後の皮表面の状態を示す。突起物が折れているのが観察される。これは突起物が木材研磨に関与し、突起物中に存在するカルシウム化合物が珪粒の役目を果たしている証明といえる。寿命となる研磨回数は研磨する樹種により異なり、コクタンでは6000回以上の研磨にも耐えたが、杉では500~600回で研磨不能となった。トクサの表面と研磨機構については野口らの²⁾詳しい報告があるので本報では省略する。

3.2 木材研磨面の性状

カリン、コウキ、コクタン3断面の供試素地を人工の研磨紙(粒度#100, 220, 400及び800)及び天然研磨材でそれぞれ400回研磨した後の表面粗さと鏡面光沢度を図5に示す。人工の研磨紙による研磨では粒度が大きく

なるほど、どの樹種も3断面とも粗さは小さくなる傾向を示す。鏡面光沢度は3樹種とも粒度が大となってもほとんど変化を認めることができず、光沢度も10%以下である。一方天然研磨材による柾目と板目の研磨面の粗さはウマズラハギの皮の場合カリン、コウキに対しては粒度#400と220程度の、またコクタンでは#800程度の研磨紙による粗さと対応する。トクサで研磨した場合、カリン、コウキでは粒度#400程度、コクタンでは#800程度の研磨紙に対応する。ムクノキの葉の場合ではカリン、コクタンに対して粒度#800程度、コウキではそれより細かい粗さが得られることがわかった。鏡面光沢度はウマズラハギの皮、トクサ、ムクノキの葉ともに研磨紙の場合より大きな値を示し、この傾向はムクノキの葉で特に著しい。ついでトクサ、ウマズラハギの皮の順序となる。さらにコクタン材の鏡面光沢度は他の2樹種にくらべて大きな値を示した。

次に、コクタンの板目材を用いて、これら天然研磨材の研磨効果を検討した。供試の素地をさらに粒度#100, #220, #400, 及び#800の研磨紙を用い、粒度の小さい順に100回ずつ研磨し、粒度#100, 220, 400及び800による研磨が最終研磨となる素地を新たに作成した。

図6はムクノキの葉、カワハギの皮及びトクサの研磨回数による表面粗さと鏡面光沢度及び表面粗さと鏡面光沢度による影響を示す。どの研磨材も研磨回数が増大すると表面粗さが小となり、鏡面光沢度が大きくなる。さらにムクノキの葉による結果から、素地仕上げの粗さが小さい程、研磨効果が著しく(表面粗さが小、鏡面光沢度が大)なることがわかる。粒度#400の研磨紙で素地を作成した後さらにトクサで研磨し、ムクノキの葉で仕上げる手法が最も効果的であった。

図7は研磨紙及びムクノキの葉で研磨したコクタンの研磨面の写真を示す。人工の研磨紙では、粒度が大きくなると程度は小となるが、木繊維壁の縦断面や放射組織の横断面等の各組織、細胞が完全に母材から切除

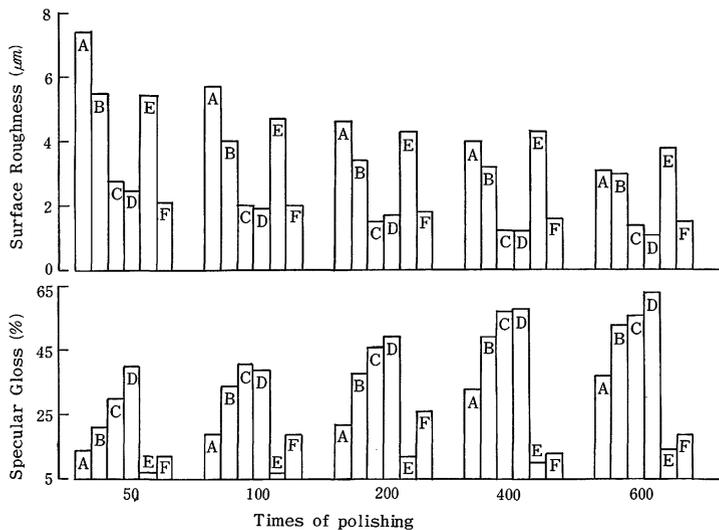


Fig. 6 Effects of polishing times on surface roughness and glossiness of ebony.

- A to D: Specimen polished with leaf of Mukunoki after sanding with artificial coated abrasive paper of grades Nos. 100, 220, 400 and 800 respectively at 100 times.
- E : Specimen polished with integument of Umazurahagi after sanding with coated abrasive paper (No. 400) at 100 times.
- F : Specimen polished with Tokusa after sanding with coated abrasive paper (No. 400) at 100 times.

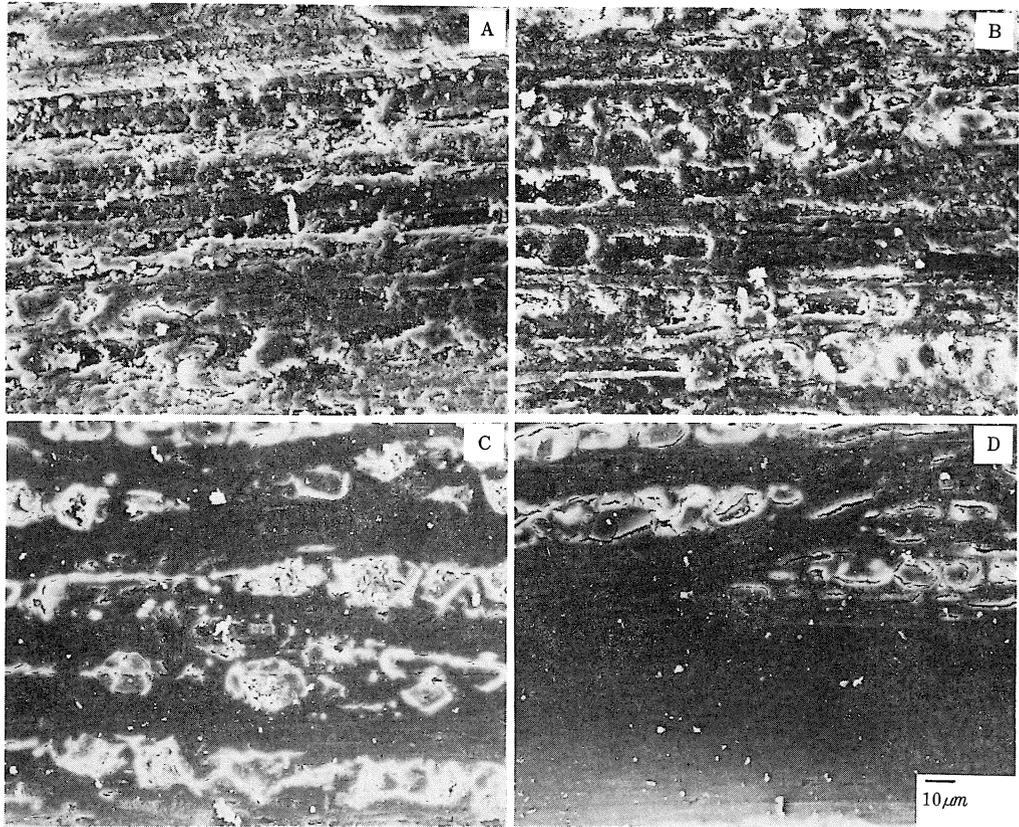


Fig. 7 Surfaces of ebony abraded.

- A : after sanding with coated abrasive paper (No. 100) at 400 times.
- B : after sanding with coated abrasive paper (No. 800) at 400 times.
- C : after polishing with leaf of Mukunoki 100 times.
- D : after polishing with leaf of Mukunoki 400 times.

されずにまくれたり、毛羽立ったりしているのが観察される。ムクノキの葉による研磨では、これらのまくれや毛羽立ちが除去され、研磨面が平滑になっているのが観察される。

図8は研磨紙とムクノキの葉で研磨した際に生じた切屑の写真を示す。粒度#220の研磨紙による切屑は#800の場合に比して、大きく、不均一である。#800の場合各切屑は小さくなるが、やはり不均一な切屑である。ムクノキの葉による切屑は研磨紙の場合に比して、小さくそして均一であるのが特徴として観察される。

図9はコクタン研磨面の表面粗さのパワースペクトルを示す。研磨紙による研磨面は粒度が大となると粗さは小さくなるが、ピッチには大きな差異が生じない。ムクノキの葉による研磨面は研磨紙の場合にくらべ粗さが小となり、さらにピッチも研磨紙に存在する細かい成分が

観察されない。この傾向は研磨回数が増大すると顕著である。

4. 考 察

ムクノキの葉による研磨面の光沢が著しく良好となる原因を以上の実験結果をもとに検討する。研磨紙による研磨では、粒度が大となっても、砥粒がかなり硬いため切断領域が砥粒近辺のみでなくかなり広い領域に、そのため大小さまざまな切屑がひきちぎられた状態で発生する。その結果、研磨された木材表面は粒度が大となっても、まくれや毛羽立ちが生じ平滑さに乏しい状態となる。一方ムクノキの葉では、研磨部として作用する剛毛は研磨紙の砥粒に比して柔軟性に富むため、研磨力のすべてが、切屑生成のための力として働かず野口らがトクサの研磨機構で報告しているように一部は、切断面のまくれや毛羽立ちを材中に埋め込む作用をすると類推され

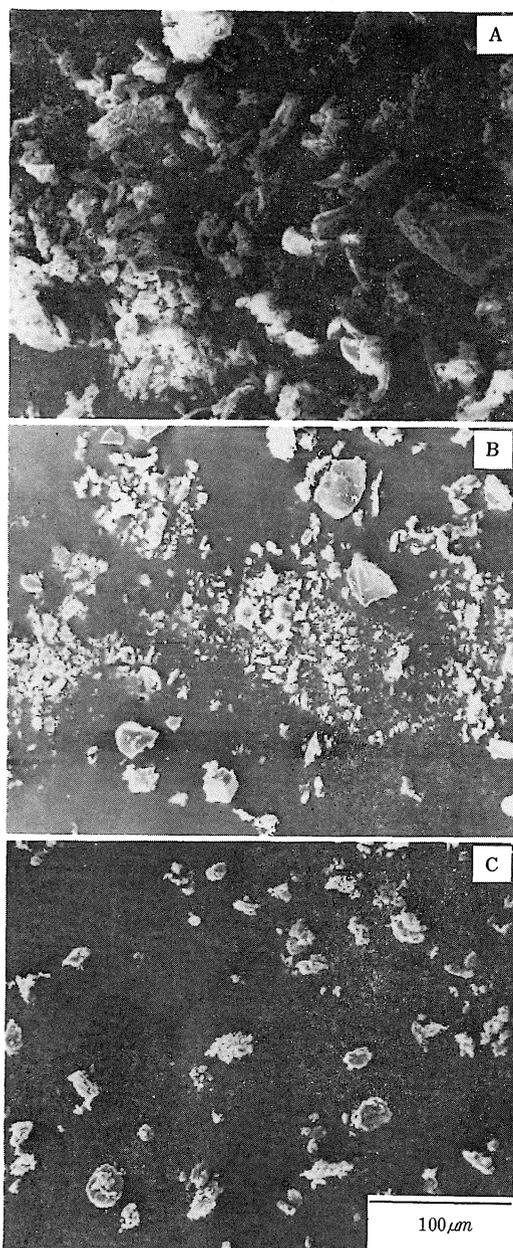


Fig. 8 The shape of wood chips removed from ebony.

A, B : by sanding with coated abrasive paper of grades Nos. 220 and 800, respectively.

C : by polishing with leaf of Mukunoki.

る。また切屑となる領域は砥粒の作用をする剛毛の近辺に限定され、木繊維壁や放射組織等のまくれや毛羽立ちのみを切屑として生成すると考えられる。その結果、切

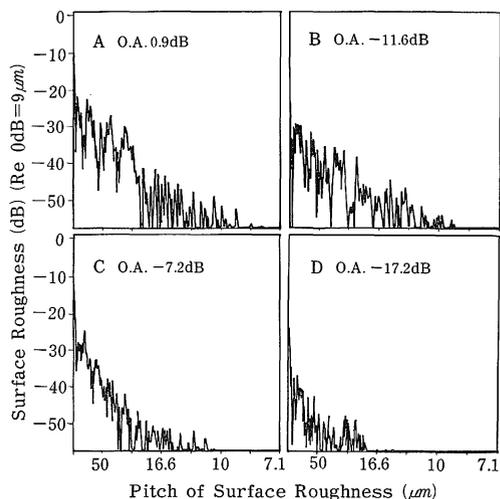


Fig. 9 Spectrum of surface roughness of abraded ebony.

A, B : Surface roughness sanded with coated abrasive paper of grade Nos. 100 and 800 respectively at 400 times.

C, D : Surface roughness polished with leaf of Mukunoki at 100 and 400 times respectively after sanding with coated abrasive paper (No. 220) at 100 times.

屑の大きさは研磨紙の場合に比して均一となり、木材表面は粒度#800の研磨紙による研磨面より平滑となり、光沢も著しく良くなるといえる。用いた粗さ計では#800とムクノキの葉の研磨面の粗さはほぼ同程度の値を示したが、これは記録装置の精度に影響されたものといえる。このことは表面粗さのパワースペクトルを検討した時のムクノキの葉による研磨面の粗さのO.A.値は研磨紙の場合より小さいことからもうなずける。

研磨紙による研磨面が、ムクノキの葉の場合に比して小さなピッチ成分を含むのは、木材表面上での木繊維壁や放射組織等のまくれや毛羽立ちのためと考えられる。研磨紙の粒度が大となると表面粗さは小さくなり、さらに砥粒密度が大となるのでピッチも小さくなるはずである。しかし測定結果が示すように、砥粒の粒度が大きくなっても、ピッチは粒度が小さい場合とほぼ同様である。これはまくれや毛羽立ちが砥粒密度のちがいに起因して研磨面に生ずるはずのピッチのちがいの発生を妨げているためと考えられ、このまくれや毛羽立ちが、粒度が大きくなると表面粗さが小さくなっているにもかかわらず、鏡面光沢度にちがいを生じさせない原因であると考えられる。またこのことは木材表面の平滑さを検討す

る場合、粗さだけでなく粗さのピッチも無視できない因子であることを示唆しているといえる。

5. ま と め

カリン、コウキ、コクタンに対するムクノキの葉、ウマズラハギの皮及びトクサの研磨効果を調べ、以下のことを明らかにした。

- 1) ムクノキの葉が研磨材として利用されるのは、ムクノキの葉の剛毛部に集中するケイ素化合物(ケイ素)が主として砥粒として作用するためである。ウマズラハギの皮の場合、突起状のうろこに存在するカルシウム化合物が砥粒として作用するためである。
- 2) 唐木研磨において光沢を持たせるための最適の研磨材は、検討した範囲内ではムクノキの葉である。
- 3) 触針式表面粗さ計で柾目および板目の研磨面を評価するとウマズラハギの皮によるカリン、コウキの粗さは粒度#400と#220程度の、コクタンでは#800程度の研磨紙の粗さに対応する。ムクノキの葉ではカリン、コクタンに対しては粒度#800程度に対応し、コウキではさらに細くなる。
- 4) ウマズラハギの皮、トクサ、ムクノキの葉による研磨面の光沢は研磨紙による場合より良好で、特にムクノキの葉による研磨面は優れている。ついでトクサ、

ウマズラハギの皮となる。

- 5) 研磨紙による研磨面は木繊維壁や放射組織のまくれ、毛羽立ちが観察された。しかしムクノキの葉による研磨面ではまくれや毛羽立ちが目立たなくなる。
- 6) ムクノキの葉による研磨面の粗さのピッチは研磨紙の場合に比して大きい。

謝辞 本研究の実験には昭和57年度卒業生尾添明夫氏の多大な御援助を賜りました。また蛍光X線分析では農芸化学科若月利之助教授に、本報の取りまとめには本学教育学部山下晃功助教授に多大の御尽力を賜りました。さらに表面粗さおよび光沢の測定では、島根県立工業技術センター木材工業科堀江恒志科長の御援助を賜りました。謹んでお礼を申し上げます。

引用文献

1. 農商務省山林局編：木材の工芸的利用，復刻版，林業科学技術振興所，p.1297，1982.
2. 野口昌巳・谷端省三・佐渡 篤：木材工業，**34**，289-292，1979.
3. 梅津二郎・木下直治・林大九郎：木材誌，**24**，808-814，1978.
4. 野口昌巳ほか3名：材料，**30**，679-684，1981.

Summary

The working characteristic and machinability of natural abrasive materials used traditionally in Japan to polish wooden products were evaluated comparing with those of artificial coated abrasive paper. Natural abrasive materials investigated were leaves of Mukunoki (*Aphananthe aspera* Planch), integuments of Umazurahagi (*Navodon modestus*) and stems of Tokusa (*Equisetum hiemale* L. var. *japonicum* Milde), and wood specimen abraded was padauk (*Pterocarpus indicus* Willd.), red sander (*Pterocarpus santalinus* Linn.) and ebony (*Diospyros* sp.). The observation of surface structure of natural abrasive materials and analysis of elements, which polish wood, contained in each materials were examined by means of X-ray microanalyzer. Then surface roughnesses (ten points average roughness), pitches of roughness, glosses and surface structure of each wood specimen polished with each natural abrasive materials and coated abrasive paper were investigated. The observation through X-ray microanalyzer revealed that Silicon compounds are distributed over the cortex of leaf of Mukunoki, above all they are concentrated in needle-like hairs and processes (Fig. 1), and they work to polish wood surface, and that calcium compounds are distributed over the integument of Umazurahagi, they are especially concentrated in spinules (Fig. 3) and they work to polish wood surface (Fig. 4). Glosses from specimens polished with native abrasive materials investigated are greater than those polished with artificial abrasive paper (Fig. 5). To evaluate the smoothness of wood surface, the pitch of surface roughness should be investigated as well as the depth of surface roughness (Fig. 9).