

手工具による木材表面形成に関する研究

ぜんまいがんなによるろくろ旋削した木材の表面観察

山下晃功*・林 和男**・八田秀次***

Akinori YAMASHITA, Kazuo HAYASHI and Shuuji HATTA
Studies on the Formation of Wood Surface with Hand Tools
Observation of the Wood Surface Machined by Wood
Face Turning Lath (*rokuro*) with *Zenmaiganna*

Abstract: The turning is one of the handiwork, and this technic has been done from old times. In turning, the wood face turning lathe (*rokuro* in Japanese) is used. There are two types in *rokuro* turning, one is peripheral turning and the other is face turning (see Fig. 1). The surface formed by the expert in *rokuro* turning has clear grain and is good glossy. But this tool (*zenmaiganna* in Japanese) that is used in *rokuro* turning is very simple structure, but machining mechanism by *rokuro* turning is very complicate because of the big change of grain direction and cutting speed during machining. Cutting angle and bias angle must be varied in correspondence with their change by expert judgement. Therefore there are only a few date about *rokuro* turning so far.

In this paper, SEM observation of *rokuro* turning surface and analysis of the locus of tool at the face turning were done. Obtained results are as follows:

- 1) In the case of finished surface, cell cavities were filled with sand shavings and surface was very smooth. This smoothed surface is very good condition for coating treatment.
- 2) The state of machined surface is affected by cutting speed. In the case of face turning, cutting speed is big difference between near and far from the center of rotation for work material. The wooly grain occur near the center. To the contrary, the wooly grain don't occur at some distance from the center, and each fiber is recognized clearly.
- 3) The locus of tool cusp at the face turning is the circle with center at the point which is projected the support on the ctting plane (see Fig.11).

* 島根大学教育学部
** 名古屋大学農学部
*** 元・富山県工業試験場

1. 緒 言

ろくろ旋削は手加工の中でも特異な加工方法である。すなわち、高速で回転している被削材を切削する加工法である。このため、他の手工具に比べ切削速度が早いことが多い。また、切削方向が刻々変化する。一方、ぜんまいがんなと呼ばれる工具は単純な形状をし、これで熟練者は全くガイドを使わず正確な平面を削り出したり、複雑な、そして、精密な曲面を作り出すことができる。これは、工具と被削材との接触の自由度が大きく、また、手に作用する力を感知しながら瞬時に工具をひねって切削面と切れ刃の角度や切削角を変えたりして、最適切削条件に対応していることによるのであろう。言い換えれば、ろくろ切削は適応制御の原点とも言うべき技である。

ぜんまいがんなも決まった形があるわけではなく、使う人によって形状、刃角など大きく異なる。我々は単純な装置でありながら精密な加工ができる、ろくろの不思議さの一端でも解明できないだろうかと考え、ろくろ加工の熟練者の手助けを得て、加工面のSEMによる観察、平面削り時の刃先の動きの解析を試みたので報告したい。

なお、ろくろ加工に関する従来の研究として、中村氏の著書¹⁾、成田氏の論文²⁾があることを付記しておく。

2. 実験方法

2.1 供 試 材

トチノキ (*Aesculus turbinata* Blume), ケヤキ (*Zelkova serrata* Makino) とスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) を使用して、外周旋削と平面旋削 (Fig. 1 参照) に供した。トチノキは、外周旋削で荒どりから最終仕上げまで各段階の観察を行うため、Fig. 2 のような試験材に調整した。Fig. 3 に木口方向からみた供試材の旋削表面性状を示す。上の層から、荒どり旋削 (d)、中仕上げ旋削 (c)、仕上げ旋削 (b) そして一番下の層が仕上げ旋削後、#280の研磨布紙で湿式研磨仕上げした部分 (a) である。このように隣接する層として、それぞれの仕上がり状態が一目で観察できるようにした。そして、荒どり部分を除いてSEM観察を試みた。

ケヤキおよびスギは、平面旋削をしたものである。ケヤキは木口面を仕上げ旋削し、#320で湿式研磨した後、#600で乾式研磨をして仕上げた。スギは板目面を仕上げ旋削しただけのものであり、研磨布紙による最終仕上げ

はしていない。いずれの材も熟練者が通常行っている状態と同様の切削条件で行ったものであり、仕上がった状態は、肉眼ではかなりの光沢が認められた。

2.2 工 具

熟練者が自分に適した方法で火づくりをし、研磨したぜんまいがんな数種及び薄刃を使用した。ぜんまいがんなの一つをFig. 4に示す。このかんなは荒削りから中仕上げ用で、刃角は約20度である。こよような小さな刃角で切削できるのは、ぜんまいがんなの特徴であろう。

荒削りでは主として、一番曲率半径の小くなった部分で、切込量を大きくして行い、仕上げ削りでは曲率半

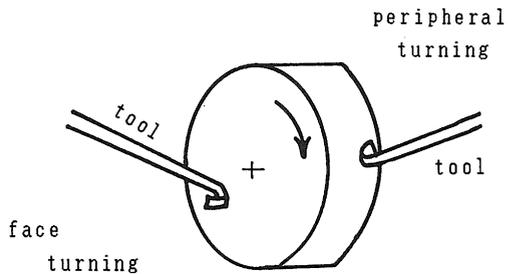


Fig. 1 Types of turning.

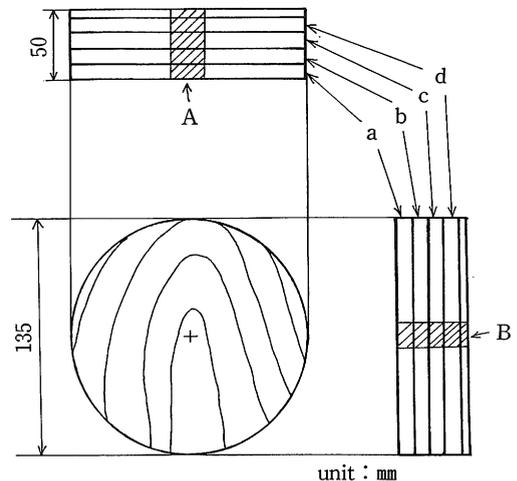


Fig. 2 Scheme of wood specimen (tochinoki, *Aesculus turbinata* Blume) by peripheral turning.

- A : Cross section,
- B : Quarter section,
- a : Surface by wet sanding after finishing turning,
- b : Surface by finish turning,
- c : Surface by prefinish turning,
- d : Surface by rough turning.

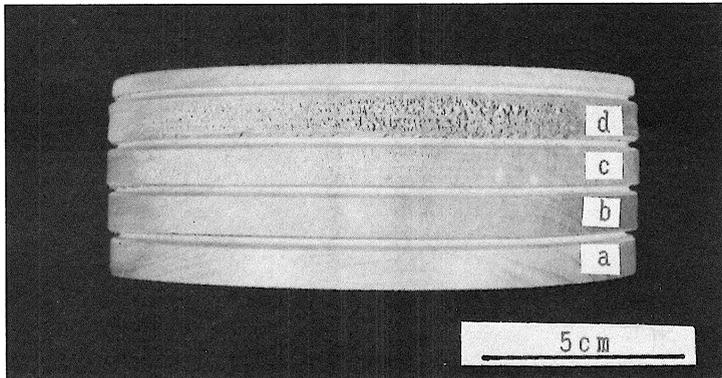


Fig. 3 View from cross section of wood specimen (refer to Fig. 2).

- a : Surface by wet sanding after finishing turning,
- b : Surface by finish turning,
- c : Surface by prefinish turning,
- d : Surface by rough turning.

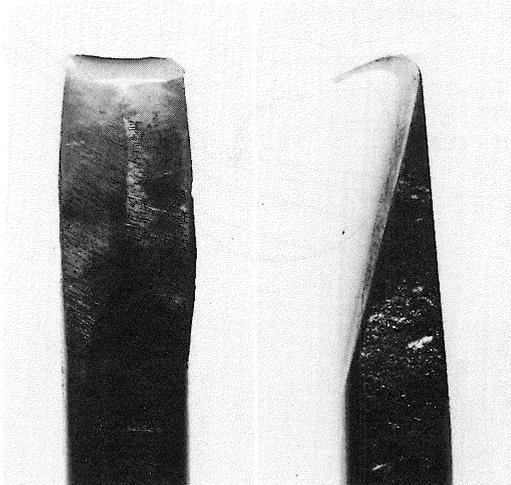


Fig. 4 One of the used tools (*zenmaiganna*).

径の大きな部分で、切込量を小さくして行っている。そして、主轴の回転数は外周旋削の場合は2,000rpm、平面旋削の場合は930rpmであった。

3. 結果と考察

3.1 外周旋削

トチノキを外周旋削したときの木口面部分のSEMによる観察結果をFig. 5に示す。(a)は仕上げ切削で、(b)は仕上げ切削後、#280で湿式研磨をした状態である。木

口面は切削だけでは、細胞の切断面がややむしり取られたような状態となっており、バリが多く切削面が荒れている。しかし、湿式研磨仕上げをすれば、荒れていた面(a)のむしれやバリがなくなり、押しならされて細胞内腔が観察されない状態となり、SEMレベルでみてもかなり平滑になっている。このような状態でありながら、わずかに、道管が判別できる。また、木口面の場合、切削が良好でないと繊維方向に裂け目が入るが、ここでは観察されない。このことは、旋削時に母材がそれほど損傷を受けていないことをうかがわせている。

Fig. 6は繊維方向にあたる柾目面部分のSEMによる各加工段階における旋削面性状である。(a)は中仕上げ、(b)は仕上げ旋削、(c)は湿式研磨後のものである。中仕上げでは細胞壁の毛羽が多く、ミクロ的にみて平滑とはいいがたい。仕上げ旋削になるとそのような毛羽はほとんどなくなり、より平滑になる。湿式研磨後は一つの細胞は認識されず、全面的に押しならされて、さらに平滑になっていることをうかがわせる。

以上のように、湿式研磨によって木口面にしても、柾目面にしても、一つ一つの細胞がくっきり見えるということではなく表面全体を押しならし、ち密化し凹凸のある木材旋削面を平滑化しているようにみられる。このことは光沢があり美しく仕上がっていることに関係があると思われる。

3.2 平面旋削

ろくろで茶托やお盆のような形状のものをつくるときには、必ずかなりの面積の平面がある。平面をつくる場合には、回転軸近くと遠いところでは、かなりの切削速

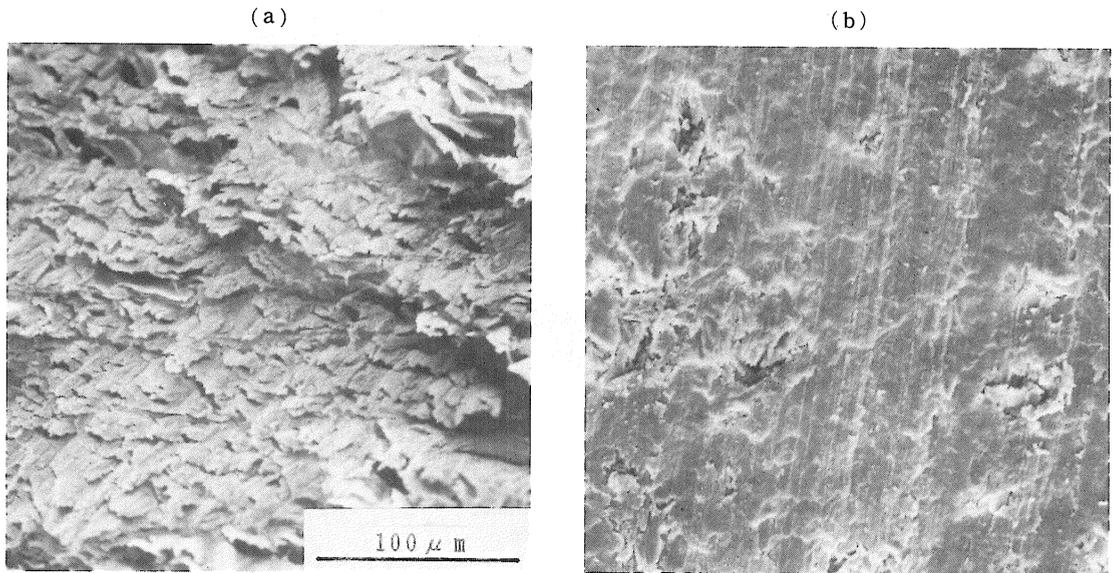


Fig. 5 Surfaces at each machined step of cross section in peripheral turning.

material : tochinoki,

a : Surface by finish turning,

b : Surface by wet sanding after finish turning.

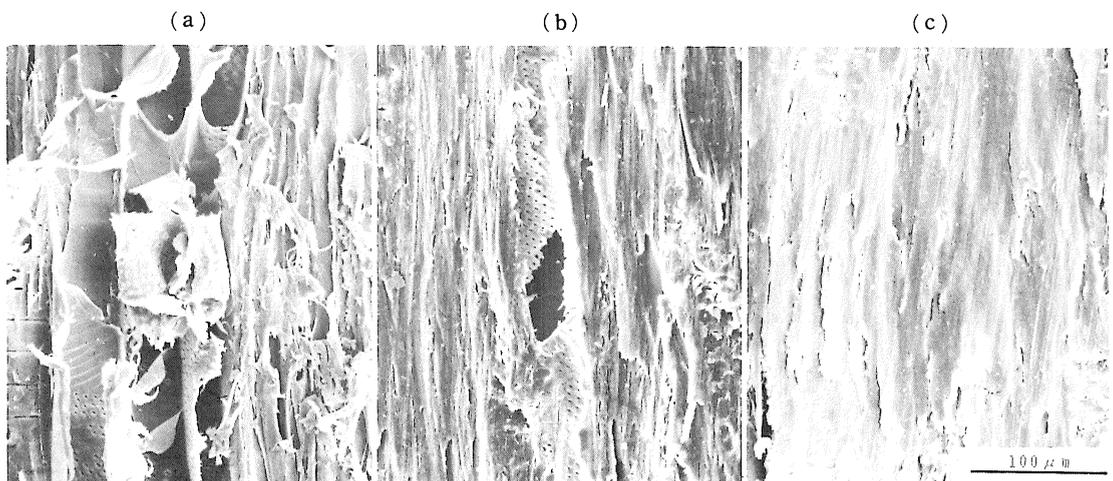
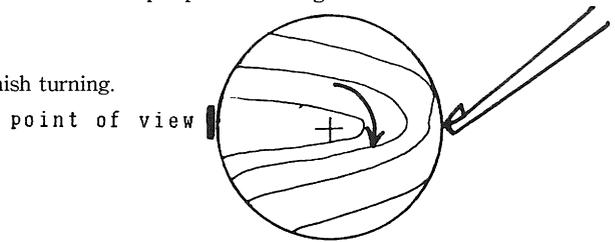


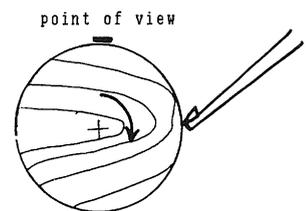
Fig. 6 Surfaces at machined step of quarter section in peripheral turning.

material : tochinoki

a : Surface by prefinish turning,

b : Surface by finish turning,

c : Surface by wet sanding after finish turning.



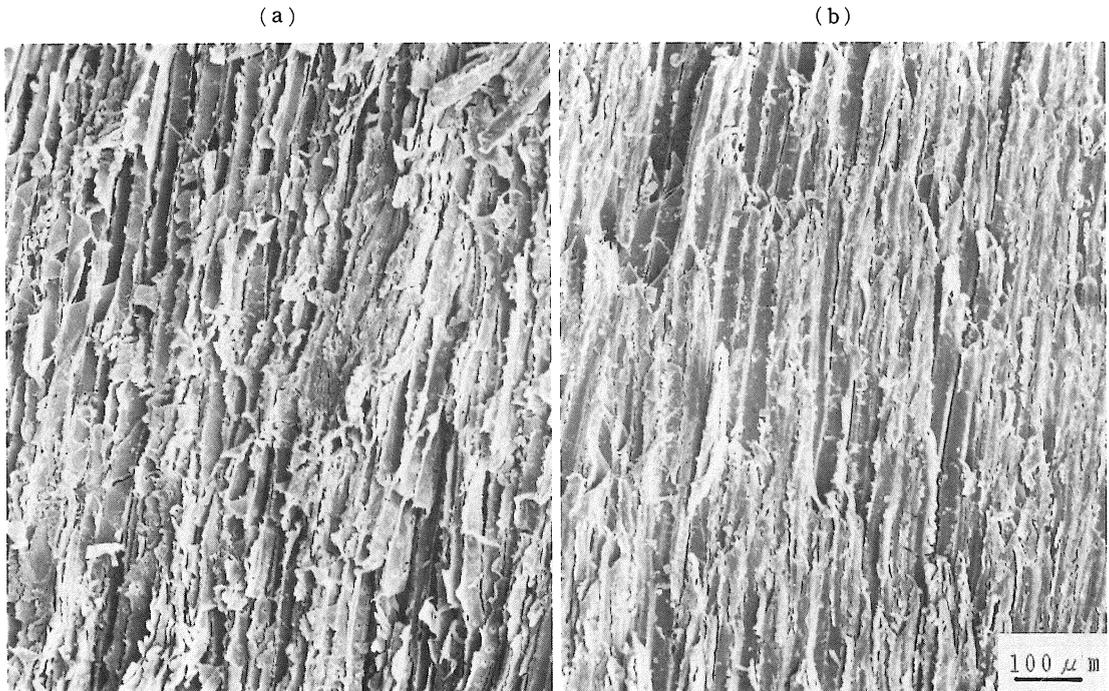


Fig. 7 Surface of sugi in face turning (1). Difference of surface state by the distance from the center of rotation at corresponding part to cutting perpendicular to the grain.

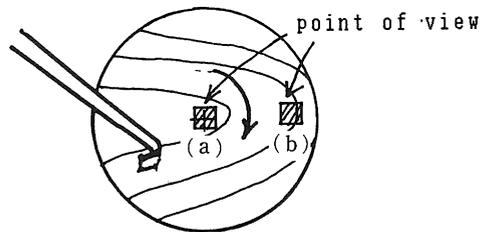
- a : Near the center,
- b : 4.5cm from the center.

度の差がある。切削速度は切削機構に大きな影響を及ぼす³⁾ので加工面がどのような差異があるのかは興味のあるところである。

Fig. 7はスギの横切削に相当する部位での回転の中心からの距離の影響を見たものである。(a)は中心付近(切削速度の遅い部位)、(b)は4.5cm離れた部位(切削速度の速い部位)の切削面の状態である。中心付近における切削面では、細胞壁の剝離(毛羽)が多くみられ、それぞれの細胞がはっきりと認識されにくく、切削状態は不良といえる。4.5cmの部位では、横切削にもかかわらず、かなり平滑で毛羽もほとんどなく、かなり良好な面といえる。このように、切削速度の差は明らかにあり、高速度の部位ほど良好な状態にある。

Fig. 8は同じ供試材であるが、縦切削に当たる部位での影響を見たものである。Fig. 6の(b)の仕上げ旋削の場合と同じように表面が押しならされて、細胞内腔が露出していない部分が多い。強く押しならされた様な帯が二本観察されるが、この部分はぜんまいがんなの最も曲率半径の小さな部分が通過した後である。

Fig. 9はケヤキの状態である。道管内腔が研磨屑で詰



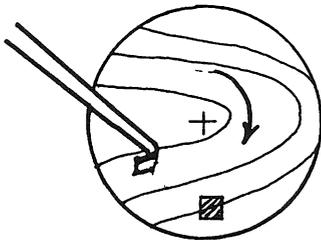
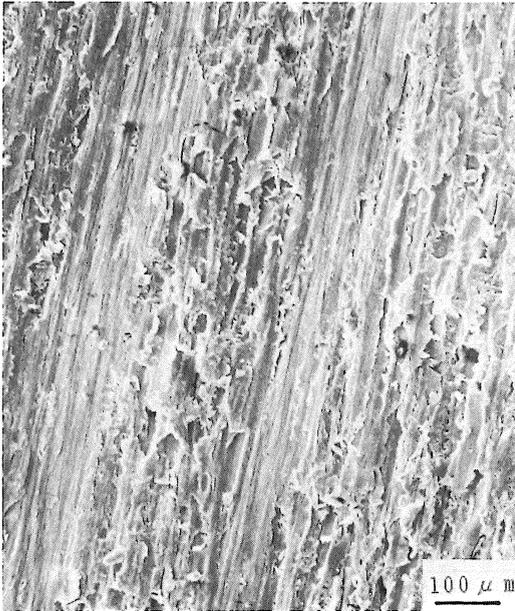
まっているが、その形は原形のまま明確である上、放射組織の細胞一本一本がはっきり識別でき、かなり良好な面が得られているのがよく解る。

以上、ろくろ加工された表面のSEMによる観察を行ってきたが、最終的に仕上げられた加工面は木材の組織を一つ一つ観察できる面ではなく、できるだけ表面を平滑にするように、例えば、内腔をつぶすように、ある程度押しならしたような面である。それにもかかわらず、母材内部にはほとんどかんなによる破壊が生じていないようである。このことが、より光沢のある面または塗装に有利な素地となることが考えられる。

3.3 平面旋削する場合の刃先の軌跡

熟練者は、かんなを馬(かんな支持台)に乗せ、この馬を支点として、刃先を回転移動させると共に切削角を変えながら切削すれば、かんな刃先の母材への食い込みがなく、より平滑な平面ができあがるという。そこで、

trace of the cusp of tool.



point of view

Fig. 8 Surface of sugi in face turning (2). Surface at 4.5cm from the center of rotation in corresponding part to cutting parallel to the grain.

その場合の刃先の軌跡はどのような動きになっているかを解析してみた。

Fig.10のように空間の一点に支点Aがある。この点の座標を (X_0, Y_0, Z_0) とする。動点Bの座標を (X, Y, Z) とする。両点の距離 l は次式で表される。

$$(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 + (Z-Z_0)^2 = l^2 \quad (1)$$

動点が $x-y$ 平面上を動く時、常に $Z=0$ である。AB間が剛な棒である時、 l は一定なので(1)式は、次のようになる。

$$(X-X_0)^2 + (Y-Y_0)^2 = l^2 - Z_0^2 \quad (2)$$



Fig. 9 Finish surface of cross section of keyaki in face turning.

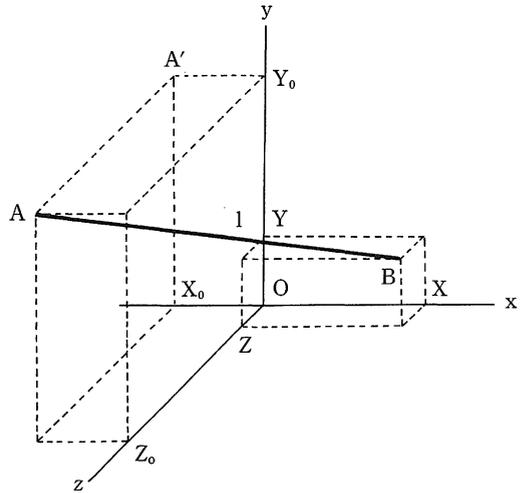


Fig.10 Distance between two points in space. (Scheme of position of support of tool and cusp of tool.)

- A : Support,
- B : Travelling point,
- O : Origin,
- l : Distance from A to B.

これよりB点の動きは、支点Aを $x-y$ 平面に投影した点 $A'(X_0, Y_0)$ を原点とする半径 $(l^2 - Z_0^2)^{1/2}$ の円であることが解る。

ここで、原点は被削材の回転中心、支点Aを馬と工具

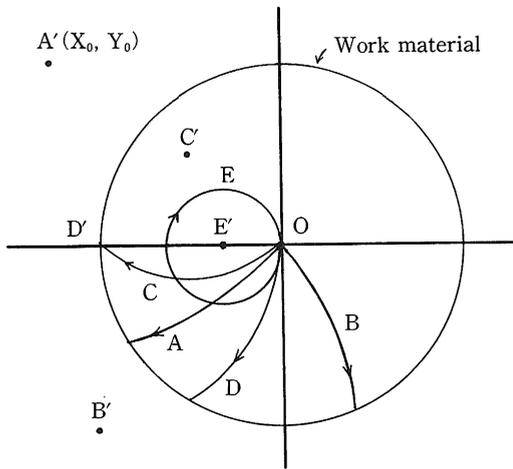


Fig.11 Effect of the position of support on the locus tool cusp.

A, B, C, D and E are the corresponding loci of the A' , B' , C' , D' and E' which are projections of various support on the X-Y plane.

O : Center of rotation.

の接点, Bを刃先とすれば X_0 は回転軸からの支点の水平方向のずれ, Y_0 は垂直方向のずれ, Z_0 は回転平面からの支点までの距離である。支点をxy平面(被削材の平面旋削面)に投影すると A' 点になりB点の軌跡はFig.11のAようになる。このように熟練者の刃先の動きは円弧運動となり, 常に三次元切削が行われながら, 大きな逆目ぼれの発生を防止しつつ旋削が手動操作により, 巧みに行われている。Fig.11には, 支点の投影位置が種々異なる場合の刃先の軌跡も示してある。E'点のように支点の投影位置が原点に近いと1と Z_0 の差が小さくなり(2)式の半径が小さくなって被削材全体の平面が削れないことになる。

4. 結 論

熟練者がろくろ加工した材のSEM観察を行った。熟練者が最終仕上げた加工面は, 木目もはっきりしており, 非常に光沢があった。また, 平面削りをするときの刃先の軌跡の解析も行った。得られた結果は次の通りである。

1) トチノキ材で外周旋削を行い, 各仕上げ段階での観察を行ったところ, 中仕上げでは各々の細胞壁のバリが多く, 平滑な面とは言えない。仕上げ旋削, 湿式研磨と加工段階が進むにしたがい, 押しならされて平滑な面となる。肉眼では光沢があり, 非常に精度良く仕上がっている面は必ずしも細胞一つ一つが認識されるような面

ではない。このことは, 木口面においても柁目面においても同様であった。

2) 平面削りの場合, 回転軸近くと外縁近くではかなり切削速度が異なり, 加工面にも影響が現れる。すなわち切削速度の早い外縁部の方がバリが少なく平滑になり良好な面が得られる。

3) 平面削りの時の刃先の軌跡は支点を切削面に投影した点を原点とする円軌道であることが解った。

謝 辞

ろくろ旋削に関して種々に有益な討論をして頂いた上, トチノキの外周旋削をし, 試験材を作製して頂いた, 富山県東砺波郡庄川町の伝統工芸士小西久夫氏に深甚なる謝意を表します。

文 献

- 1) 中村源一: “ろくろと挽物技法”, 槇書店, 1982.
- 2) 成田寿一郎: 日本建築学会論文報告集, No.295, 115-123 (1980); No.300, 125-132 (1981).
- 3) 林 和男, 伊藤昌明: 木材学会誌, 34, 100-111 (1988).