

円柱材製造機によるカラマツ小径丸太の切削試験

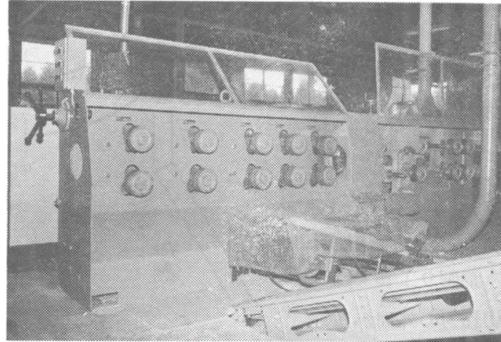
金 森 勝 義 千 野 昭
若 井 実 河原田 洋 三*

1. はじめに

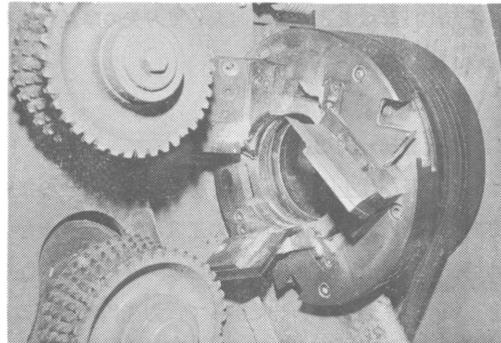
小径材を対象とした製材木取り方法とその利用については、様々な角度から検討されている。この一つとしてRod Rounding Machine と呼ばれる円柱材製造機を利用したものが紹介されている¹⁾。これは、この機械であらかじめ一定の径の円柱材に切削した後、ツインバンドソー等で引き材するシステムであり、背板も壁面パネルとして利用するため、従来の木取りに比較して歩留まりが高いとされている。

円柱材製造機は、樹皮つきの丸太を適当な径の円柱材に加工するもので、主に丸太小屋、フェンス、遊具などの部材を製造する目的で約15年前に西独で開発された機械である。しかし、この機械の切削性に関する技術資料についてはまだ明らかにされたものがないので、当場に導入した機種を使ってカラマツ小径丸太を供試木とした2, 3の試験を行った。また、本機における工具切れ刃の逃げ角は、被削材の仕上がり径、切り込み量などによって変化するので、これらとの関係式を誘導した。

なお、本報告は第31回日本木材学会大会（昭和56年4月、府中市）で発表したものの詳細である。



第1図 円柱材製造機



第2図 カッタヘッド

2. 試験方法

2.1 供試木

末口径と元口径の平均値が各々11cm, 13cm, 材長約3.7mのと道産カラマツ丸太を供試した。また、比較のために円柱材製造機であらかじめ一定の径に切削したカラマツとシナノキの円柱材も一部用いた。

2.2 円柱材製造機

本機は第1図の西独製のもので、上下の送りローラによって丸太を挿入し、中央部のカッタヘッドに取り付けた工具で直径5~14cmの円柱材に切削する。全

長は5.2mで、カッタヘッドの後側にはカッタ軸が2つあり、背割り、さね加工などが連続して出来る。

第2図はカッタヘッドの部分を示したもので、工具を取り付けるナイフホルダは3カ所にある。これらは目的とする仕上がり径の目盛り位置にボルトで固定される。カッタヘッドのモータは22kWで、この回転数は1400rpmである。

工具は荒削り用平バイトと仕上げ用斜バイトの2種類からなり、各々1枚ずつ計2枚を1組としてセットされる。この場合の最大削りしろは、約3cmである。なお、工具の材質は、両者とも高速度鋼で、硬さはロ

ックウェル硬度
(HRC) 約64である。

2.3 切削所要

動力

横河電機株の三相電力計で測定し、この記録紙上の平均値から空転動力(約4.0kW)を差引いた値とした。

2.4 刃先摩耗

荒削り工具では切れ刃の外周から

1cm, 仕上げ工

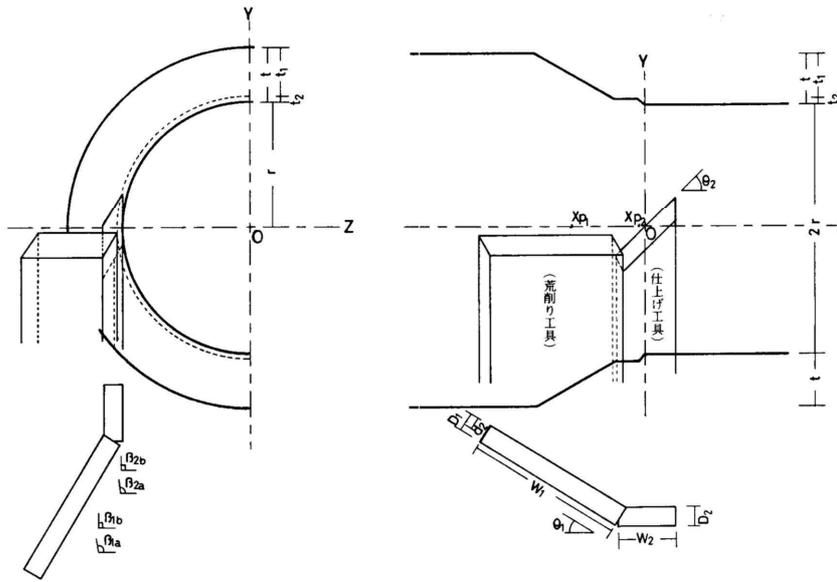
具では切れ刃の中央に鉛を押し付けて刃型を取り、それを万能投影機で300倍に拡大して刃先の摩耗状態を観察した。

3. 工具切れ刃の逃げ角

荒削り及び仕上げ工具は被削材の仕上がり径の接線方向に位置し、しかも両者の工具は、プレーナなどの場合と異なり、裏刃が被削材のセンター方向になるようにセットされる。したがって、刃先円に対する荒削り並びに仕上げ工具切れ刃の見かけの逃げ角は0度となる。しかし、荒削り工具では工具傾き角、仕上げ工具では横すくい角を有しており、切り込み量は両者の工具切れ刃によって分担している。したがって、切削面に対するそれぞれの真の逃げ角は、ある角度を持つことになる。そこで、被削材の仕上がり径などをパラメータとするこれら逃げ角の関係式を誘導した。

3.1 荒削り工具切れ刃の逃げ角

第3図に示すように、x軸を送材方向、y軸を切削方向、z軸を被削材の半径方向とする三次元座標を考え、原点0は被削材のセンターとする。なお、(x, y)座標において、原点0は仕上げ工具の幅寸法の中央 $W_2/2$ と被削材の仕上がり径との接点下にあるもの



第3図 (y, z)および(x, y)座標の模式図

とする。

工具切れ刃の刃先線は、次の直線式で表される。

$$\frac{x - \left\{ \frac{W_2}{2} + (D_1 - d_2) \sin \theta_1 \right\}}{W_1 \cos \theta_1} = \frac{z - (r + t_2)}{W_1 \sin \theta_1} \dots \dots \dots (1)$$

- W1 : 荒削り工具の幅[mm]
- W2 : 仕上げ工具の幅[mm]
- D1 : 荒削り工具の厚さ[mm]
- theta1 : 荒削り工具傾き角[deg]
- d2 : (x, y)座標における荒削り工具と仕上げ工具の接触長さ[mm]
- r : 被削材の仕上がり半径[mm]
- t2 : 仕上げ工具切れ刃の切込み量[mm]

ここで、工具切れ刃と被削材の接点を $-x_{p1}$ とすると、 $x = -x_{p1}$ における z_{p1} の値は(1)式から求まる。

$$z_{p1} = -\tan \theta_1 x_{p1} - \tan \theta_1 \left\{ \frac{W_2}{2} + (D_1 - d_2) \sin \theta_1 \right\} + r + t_2 \dots \dots \dots (2)$$

一方、被削材を $x = -x_{p1}$ 平面で切った断面は円となり、この方程式は次式で表される。

$$y_{p1}^2 + z_{p1}^2 = (r + t_2 + t_{p1})^2 \dots \dots \dots (3)$$

t_{p1} : $x = -x_{p1}$ における荒削り工具切れ刃の切込み量 [mm]

求める逃げ角 γ_1 を $x = -x_{p1}$ 線上の工具と被削材の接点におけるそれぞれの接線のこう配の差とすると、被削材側のこう配 γ_{1a} が鈍角、工具側のこう配 γ_{1b} が常に直角となるので、 γ_1 は次式で表される。

$$\beta_1 = \beta_{1a} - \beta_{1b} = \tan^{-1} \left(\frac{dz_{p1}}{dy_{p1}} \right) \quad z_{p1} = z_{1a} - z_{1b} \dots (4)$$

(2), (3)式ならびに $y_{p1} = -t_2$ から(4)式を解くと,

$$\beta_1 = \tan^{-1} \left[\frac{t_2}{-x_{p1} \tan \theta_1 - \left\{ \frac{W_2}{2} + (D_1 - d_2) \sin \theta_1 \right\} \tan \theta_1 + r + t_2} \right] \dots (5)$$

ただし, $-\left\{ \frac{W_2}{2} + \sin \theta_1 (D_1 - d_2) + W_1 \cos \theta_1 \right\}$

$$\leq x_{p1} \leq -\left\{ \frac{W_2}{2} + \sin \theta_1 (D_1 - d_2) \right\}$$

$$0 < t_2 < \frac{W_2}{2} \tan \theta_2$$

$$0^\circ < \theta_1 < 90^\circ$$

3.2 仕上げ工具切れ刃の逃げ角

座標軸などを荒削り工具の場合と同様にすると, この工具切れ刃の刃先線は次式で表される。

$$y = \tan \alpha x \dots (6)$$

α : 仕上げ工具切れ刃の横すくい角 [deg]

(6) 式から工具切れ刃と被削材の接点を x_{p2} とすると,

$x = -x_{p2}$ における y_{p2} の値は次式で示される。

$$y_{p2} = -\tan \alpha x_{p2} \dots (7)$$

一方, 被削材を $x = -x_{p2}$ 点で (6) 式に

垂直な平面で切った断面はだ円となる。

このだ円方程式は次式で表される。

$$\frac{z_{p2}^2}{r^2} + \frac{y_{p2}^2}{\left(\frac{r + \tan \theta_2 x_{p2}}{\sin \theta_2} \right)^2} = 1 \dots (8)$$

被削材と工具側の接線のこう配を β_{2a} と β_{2b} とすると, 求める逃げ角 β_2 は次式で表される。

$$\beta_2 = \beta_{2a} - \beta_{2b}$$

$$= \tan^{-1} \left(\frac{dz_{p2}}{dy_{p2}} \right) \quad z_{p2} = z_{2a} - z_{2b} \dots (9)$$

(7), (8)式ならびに $z_{p2} = -r$ から(9)式

を解くと,

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left\{ -\frac{x_{p2} \tan \theta_2}{\left(\frac{r + x_{p2} \tan \theta_2}{\cos \theta_2} \right)^2 \cdot r} \right\} \dots (10)$$

ただし, $-\frac{t_2}{\tan \theta_2} \leq x_{p2} \leq 0$

$$0 < t_2 < \frac{W_2}{2} \tan \theta_2$$

$$0^\circ < \theta_2 < 90^\circ$$

[林産試月報 1981年10月]

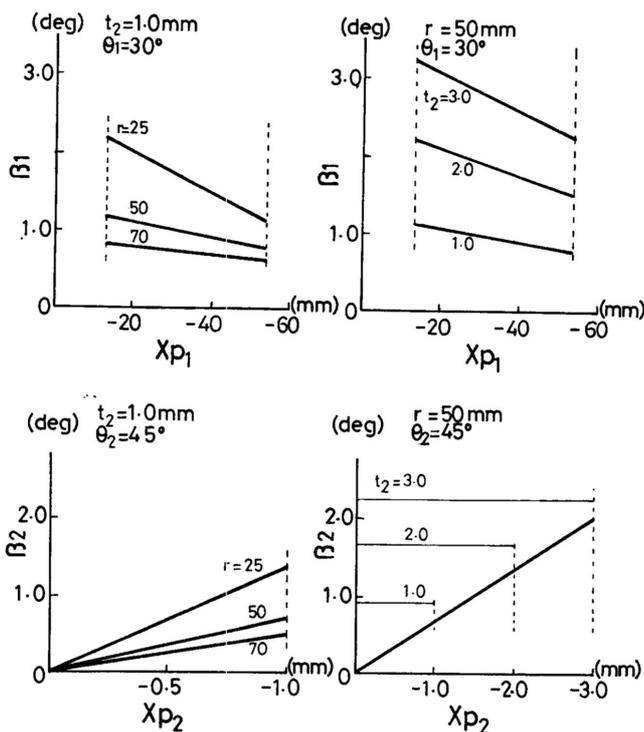
3.3 計算例

(5), (10)式において, $\theta_1 = 30^\circ$, $\theta_2 = 45^\circ$, $W_2 = 23.0\text{mm}$, $D_1 = 8.8\text{mm}$, $d_2 = 5.0\text{mm}$ は既知の値であり, これらを両式に代入して逃げ角 β_1, β_2 と工具切れ刃の位置 x_{p1}, x_{p2} の関係

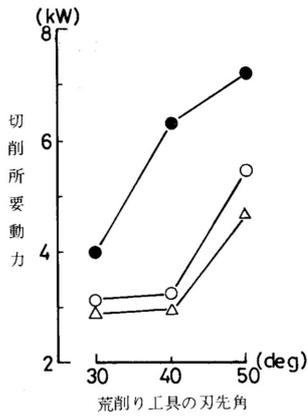
を第4図に示した。 β_1 及び β_2 は被削材の仕上げ径が小さいほど, 仕上げ工具切れ刃の切り込み量 t_2 が大きいほど大きな値を示す。ただし, r が一定の場合, β_2 と x_{p2} の関係は一つの直線で表される。この機械の切削法は切削機構上の分類から見ると旋削に該当し, この場合の適正な逃げ角は $12^\circ \sim 18^\circ$ としている²⁾。しかし, 今回の計算では β_1 及び β_2 とも極めて小さな値を示し, 特に β_2 では仕上げ径の位置で0度となる。たしかって, 工具切れ刃の逃げ面摩耗は速いことが予想される。

4. 試験結果と考察

4.1 刃先角と切削所要動力



第4図 β_1 と x_{p1} , β_2 と x_{p2} の関係(計算例)

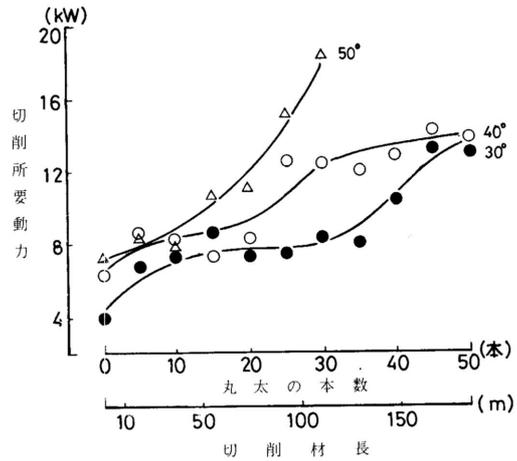


	●	○	△
供試材	カラマツ丸太	カラマツ円柱材	シナノキ円柱材
樹皮	有	無	無
径 (cm)	末口 12, 元口 14	13	13
2r (cm)	10		
frev. (mm/rev.)	2.1		
t (mm)	10 ~ 20	15	
切削速度 (m/min)	484 ~ 615		571

第5図 荒削り工具の刃先角と切削所要動力の関係

仕上げ工具の刃先角を35°の一定とし、荒削り工具のそれを30°、40°、50°とした場合の切削所要動力を第5図に示した。切削所要動力は、刃先角の増大に伴って増加した。比較のために実施した円柱材の結果によると、30°と40°の間には差がなく、50°になると前二者の約2倍の値を示した。供試丸太は極力径級がそろるように選別したが、樹皮に含まれる小石、砂の状態、節の大きさと数などが各々異なることから、一般的な傾向は円柱材の結果に類似するであろう。カラマツについて樹皮の有無による差をみると、丸太は円柱材よりも約30~90%高い値を示した。

次に切削条件を第5図と同一にした場合の切削材長に伴う切削所要動力の変化を第6図に示した。刃先角50°では指数曲線的に増加したのに対して、30°と40°では最初の立上がり後に一時増加の割合が小さくなってから再び増加する傾向を示した。前述の計算例から荒削り及び仕上げ工具切れ刃の逃げ角は過小であるため、両者の刃先角がそれぞれの切削角に近似するもの

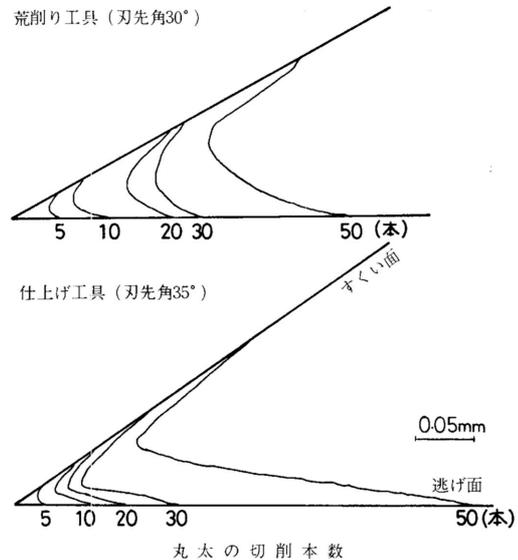


第6図 切削材長に伴う切削所要動力の変化

と考えられる。したがって、刃先角が過大になると、切削抵抗は増加するので、刃先角は30°~40°が妥当と考えられる。なお、参考までに被削材の表面あらさ(Rmax)を測定した結果、刃先角30°と40°の50本後ではそれぞれ約125, 107 μmであり、刃先角50°の30本後では約45 μmであった。

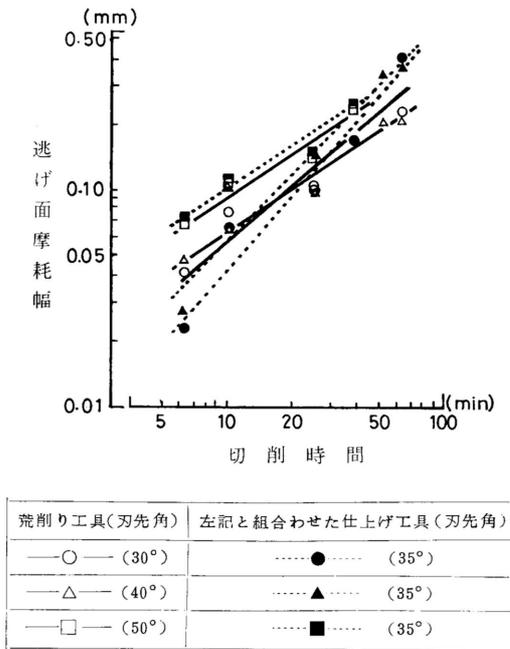
4.2 刃先摩耗

結果の一例を第7図に示した。荒削り工具では、いずれの刃先角とも逃げ面及びすくい面摩耗幅の進行が



第7図 刃先の磨耗研態の一例

注) 下図の仕上げ工具は、上図の荒削り工具と組合わせてセットしたものである。



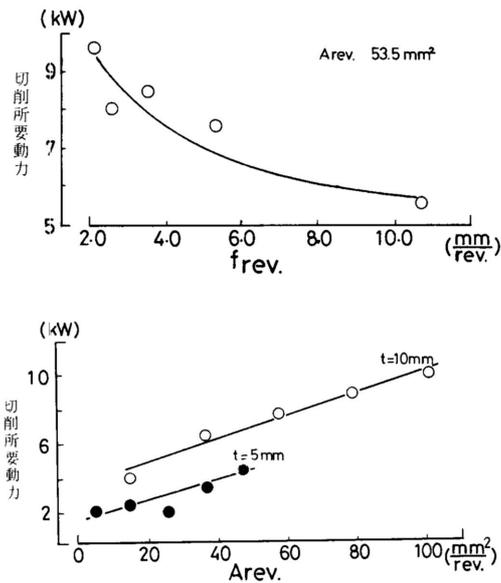
第8図 切削時間と逃げ面摩耗幅の関係

ほぼ同様であった。一方、仕上げ工具では、丸太の切削本数が約30本を超えると、すくい面よりも逃げ面の摩耗幅の方が顕著になる傾向を示した。なお、これは節や小石の影響と考えられるが、刃先にチッピングを生じたものがあつた。

第8図に逃げ面摩耗幅と切削時間の関係を両対数グラフに表した。この関係は、すべての荒削り及び仕上げ工具において高い相関性 ($0.97 < r < 0.99$) が認められた。このことから、本試験の切削時間の範囲では、刃先摩耗の進行が比較的ゆるやかに定常的に増加する、いわゆる定常摩耗の期間と考えられる³⁾。金属切削の場合、この期間の逃げ面摩耗幅は0.5~0.7mm程度が多い³⁾としている。これを今回の試験結果にすぐさま適用することは無理だが、刃先角30°と40°の荒削り工具と組み合わせた仕上げ工具は、刃物寿命が短いと考えられる。

4.3 frev. 及びArev. と切削所要動力

直径14cmのカラマツ円柱材について、1回転あたりの送り量 (frev.) 及び切削面積 (Arev.) と切削所要動力の関係を第9図に示した。切削面積を一定に



注) 切削速度 615m/min., 荒削り工具刃先角30°, 仕上げ工具刃先角35°

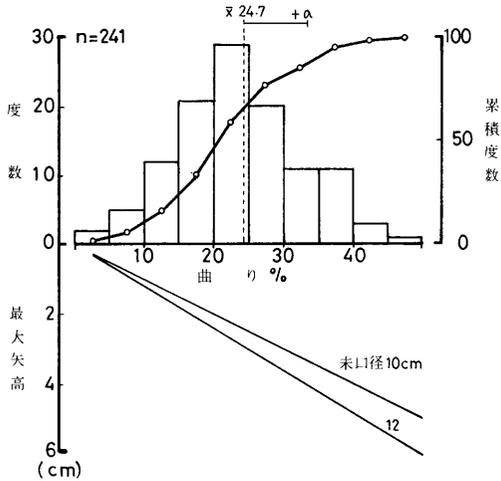
第9図 frev. 及びArev. と切削所要動力の関係

とり、切り込み量と送り速度を変化させた場合、切削所要動力はfrev. が大きいほど、すなわち切り込み量が小さく、送り速度が速い組み合わせになるほど減少した。

一方、切り込み量を一定として送り速度を変化させた場合、切削所要動力はArev. が大きいほど、すなわち送り速度が速いほど増加した。これらの傾向は、木材の旋削における切削抵抗との関係⁴⁾と同様であった。なお、この試験は供試材の材質のバラツキを少なくするために、円柱材を対象としたが、樹皮つきの丸太についてもほぼ同様な傾向を示すものと考えられる。

4.4 丸太の曲がりの許容値

今回の試験に用いた円柱材製造機は、最大切り込み量が決まっているので丸太の曲がりが制限される。第10図にカラマツ供試丸太の曲がりのヒストグラムを示した。材長3.7mにおける丸太の曲がりが約40%以上の場合、すなわち最大矢高が約5~6cmを超えると切削不能の状態となった。したがって、末口径によって多少異なるが、丸太の曲がりの許容値は材長3.7mにつき最大矢高約5~6cmが一応の目安と考えられ



第10図 供試丸太の曲りのヒストグラム

る。なお、本機の切削可能な丸太の最小材長は1.2mであるので、短尺材を用途とする場合は曲がりの制限もかなり緩和出来るであろう。

5. まとめ

当场に導入した西独製円柱材製造機 (Rod Rounding Machine) の切削性に関する技術資料を得る目的で、供試木をカラマツ小径丸太とした2, 3の試験を行った。また、工具切れ刃の逃げ角についても検討を加えた。結果を要約すると次のようになる。

(1) 荒削り及び仕上げ工具切れ刃の逃げ角は極めて小さく、被削材の仕上がり径、切り込み量などとの関係は(5), (10)式で表される。

(2) 切削材長と切削所要動力の関係から、荒削り工具の刃先角は30°~40°が適当と判断される。

(3) 刃先摩耗の観察から、仕上げ工具は切削材長の増大に伴って逃げ面摩耗が進行し、荒削り工具よりも刃物寿命が短いと考えられる。

(4) $f_{rev.}$, $A_{rev.}$ と切削所要動力の関係は、木材の旋削における切削抵抗との傾向に類似している。

(5) 丸太の曲がり許容値は、材長3.7mにつき最大矢高が約5~6cm以下と考えられる。

なお、本文の取りまとめに際して御指導と御助言を頂いた北海道大学工学部金内忠彦教授に対して深謝致します。また、切削動力の測定に御協力頂いた当场動力科の方々に対して感謝致します。

文献

- 1) G. Köhler : Holz-Zentralblatt, Nr. 117, 1725 (1979)
- 2) 枝松信之, 森 稔著 : 製材と木工, 森北出版, 274 (1963)
- 3) 中山一雄著 : 切削加工論, コロナ社, 162 (1979)
- 4) 梶田 茂編 : 木材工学, 養賢堂, 372 (1961)

— 木材部 加工科 —
— *試験部 製材試験科 —
(原稿受理 昭56.8.31)