



Title	木材切削工具の切れ味測定と切れ味評価(XXVI): 木材切削における工具すくい面の切削応力分布および摩擦係数の変化に及ぼす被削材気乾容積重の影響(1)(東 幹夫・尾崎 洋二教授退官記念)
Author(s)	杉山, 滋
Citation	長崎大学教育学部紀要. 自然科学. vol.70, p.31-35; 2004
Issue Date	2004-03-26
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10069/6132">http://hdl.handle.net/10069/6132</a>
Right	

This document is downloaded at: 2017-10-24T07:52:13Z

## 木材切削工具の切れ味測定と切れ味評価 (XXVI)\*

木材切削における工具すくい面の切削応力分布および摩擦係数の  
変化に及ぼす被削材気乾容積重の影響 (1)

杉 山 滋

長崎大学教育学部技術教育教室

(平成15年10月31日受理)

## Studies on Quantification of Sensuous Sharpness and Mechanical Sharpness of Wood Cutting Tools. XXVI.\*

Effects of Workpiece Specific-Gravity in Air Dry Condition upon Stress Distribution  
and Frictional Coefficient on Tool Rake-Face in Wood Cutting (1)

Shigeru SUGIYAMA

Department of Technology Education, Faculty of Education,

Nagasaki University, Nagasaki 852-8521

(Received Oct. 31, 2003)

### Abstract

In the wood cutting process, it is important to obtain the actual stress distribution on the rake face during cutting and to investigate the changes in stress distribution and frictional coefficient with workpiece condition. In order to obtain quantitative information on them, the basic orthogonal cutting tests were performed using the same conventional and composite tools as used in the previous reports<sup>3), 4)</sup>. The distributions of the frictional stress ( $\tau$ ) and the normal stress ( $\sigma$ ) on the rake face can be expressed by Eq. (7).

### 1. 緒 言

この研究では、多数の樹種を供試材として用い、切削抵抗、工具すくい面に働く切削応力分布およびすくい面の摩擦係数などを測定し、木材の材質、とくにその中でも、最も重要と考えられる気乾容積重と上記の要因との一般的な関係について、検討を行った。

### 2. 実 験 方 法

木材切削における工具切れ刃面（すくい面、逃げ面、およびこれら両面の交わる刃先先端部）に働く切削応力分布のうち、すくい面に限定して、同面に働く切削応力分布の測定を分割工具を用いて行った（分割工具の構造、同工具による切削応力分布の測定原理と方法、切削実験装置ならびに同装置による実験方法などは、既報<sup>3), 4)</sup>と同様である。次頁の脚注\*<sup>1</sup>にも概要を示した）。

\* 本研究は、研究課題「木材切削工具の切れ味評価法（感覚切れ味と機械切れ味の定量化）に関する研究」の続報である。なお、本研究を「学校教育における木材加工（木工・工作を含む）学習指導のための技術的基礎研究（第30報） Technical and Fundamental Studies on Education of Wood Working Technical Education Lessons of School, XXX.」とする。上記の研究（第29報）および標記の研究（XXX）は、長崎大学教育学部紀要 ー自然科学ー 第70号 25 ~ 30（2004. 3）に掲載。

Table 1. Test materials used in wood cutting.

Species ( $r_u$ )	Species ( $r_u$ )	Species ( $r_u$ )	Species ( $r_u$ )
<b>Machined surface : (a)</b> Western red cedar (0.31) Kiri (0.36) Spruce (0.39) Light red meranti (0.43) Agathis (0.46) Kamerere (0.48) White meranti (0.49) Tsuga (0.52) Radiata pine (0.56) Nyatoh (0.56) Bagtikan (0.58) Akamatsu (0.59)	Buna (0.61)	Chosengoyo (0.41)	Shiberia karamatsu (0.79)
	Mersawa (0.61)	Ezomatsu (0.45)	Narra (0.97)
	Black walnut (0.62)	Mahogany (0.47)	<b>Machined surface : (c)</b> Sugi (0.33) Todomatsu (0.37) Hiba (0.43) Katsura (0.47) Western hemlock (0.48) Sen (0.49) Taiwan hinoki (0.49) Kuri (0.52) Matoa (0.61) Mizunara (0.71)
	Kapur (0.64)	Hinoki (0.48)	
	Ramin (0.66)	Tochinoki (0.51)	
	Yachidamo (0.67)	Hoonoki (0.51)	
	Sepetir paya (0.70)	Karamatsu (0.57)	
	Apitong (0.84)	Keyaki (0.58)	
	Shirakaski (1.01)	Yellow meranti (0.58)	
	<b>Machined surface : (b)</b> Balsa (0.19) Shinanoki (0.40) Douglas fir (0.40)	Jongkong (0.58)	
		Dark red meranti (0.62)	
		Makanba (0.64)	
		Rosewood (0.73)	
		Teak (0.73)	

$r_u$ : specific gravity at tests ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ); machined surface (a), (b) and (c): refer to Fig. 1.

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 切削現象の変化

観察された切屑生成形態は、いずれの材、いずれの切込量  $t$  の切削においても、折れ型切屑を呈した。本研究の実験範囲では、(a) 切削線上に沿い刃先斜めの上方に開き破壊が生じる場合、(b) 切削線上に沿って開き破壊生じる場合、および(c) 刃先前方の切削線上に先割れが発生する場合、が観察されたが、(a) は  $t$  の小さい場合に、(c) は  $t$  の大きい場合に、それぞれ多く観察された。とくに、 $t$  の小さい場合の切削では、流れ型に近い切屑形態を呈したが、いずれの材の切削においても、折れ型特有の破折された跡が観察された。これら先割れ、あるいは開き破壊の様相は、材の比重  $r_u$  と密接な関係をもつ、と考えられる。この研究では、Table 1 に示したように、供試材50種には、早材・晩材の差が顕著な材と、そうでない材とがあり、しかも年輪接触角  $\varphi_3$  が一定でない。したがって、 $\varphi_3$  の変化に伴う早材・晩材の被削性の相異から、先割れあるいは開き破壊の形成と  $r_u$  との関係は、明確に把握し得なかった。

このような折れ型形態において、すくい面の切削応力分布およびすくい面の摩擦係数の

\*1 切削実験は、すくい面切削応力分布を測定するための分割工具、および切削現象の変化の測定と観察を行うための通常工具の両者を用いて行った。前者による実験では、切れ刃となるナイフ ( $T_2$ ) のすくい面長さ ( $l_c$ ) を、実測された工具一切屑接触長さ ( $l_k$ ) の範囲内で種々変化させ、それぞれの  $T_2$  に加わる切削抵抗の摩擦力 ( $F$ ) および垂直力 ( $N$ ) を測定した。また、後者による実験では、 $l_c$ 、切屑の曲率半径 ( $\rho$ ) および切削抵抗の水平分力 ( $F_H$ )、垂直分力 ( $F_V$ ) の測定、および切屑生成形態の変化の観察を行った (測定方法の詳細は、既報<sup>9)</sup>参照)。

分割工具、通常工具いずれも材質はSKH 2で、切れ刃となる刃先角は  $25^\circ$  で、逃げ角は  $10^\circ$  一定とした。切込量 ( $t$ ) は 0.3, 0.5, 0.7 mm の3段階とし、二次元低速切削 (被削材の送り速度は  $144.9 \text{ mm}/\text{min}$ ) を行った。切削は、Fig. 1 に示すように、切削面がそれぞれ板目、追まさ目およびまさ目の3種の縦切削を対象とした。いずれの縦切削においても、繊維傾斜角 (木材の繊維走向と切削方向の交差角度、Fig. 1 の  $\varphi_1$ ) をでき得る限り  $0^\circ$  に、また、木理斜交角 (切削面において繊維走向と切削方向の交差角度、Fig. 1 の  $\varphi_2$ ) を  $0^\circ$  にして切削を行い得るように、試験片を調整した。

供試材には、Table 1 に示すように、本邦産材21種、外国産材29種を用いた。それらの材の気乾容積重 (以下、比重という) の範囲は、0.19 (バルサ) ~ 1.01 (シラカシ) であった。また、含水率は  $8.9 \sim 12.7\%$  (平均  $11.4\%$ ) であった。切削面の板目、追まさ目、まさ目の識別は、試験片の木口断面の年輪 (南洋材では、同心円状に配列する軸方向細胞間道) により決定した。即ち、年輪接触角 (木口断面の年輪と切削面との交差角度、Fig. 1 の  $\varphi_3$ ) により、本報では便宜上  $0^\circ \leq \varphi_3 < 25^\circ$  を板目、 $25^\circ \leq \varphi_3 < 65^\circ$  を追まさ目、 $65^\circ \leq \varphi_3 \leq 90^\circ$  をまさ目とした。なお、切削面が板目および追まさ目の材は、木表側から切削し、また、 $\varphi_1 \neq 0^\circ$  の僅かな目切材は、順目切削となるように注意を払った。同一材においても、 $\varphi_3$  は毎回の切削で異なり、その都度  $\varphi_3$  を測定し、 $\varphi_3$  の変化に伴う切削抵抗変化などに及ぼす影響をも調べるよう配慮した。

分割工具による切削では、 $T_2$  のセッティングならびに各種すくい面長さ  $l_c$  [この研究では、 $0.11 \text{ (mm)} \leq l_c \leq l_k$  の範囲で11段階に  $l_c$  を変化させた] をもつ  $T_2$  刃先の鋭利性を一定の状態に保って切削することは極めて難しい。この研究でも既報<sup>9)</sup>と同様に、八角形弾性リング荷重装置によって検出される切削力 ( $F_H$ ,  $F_V$ ) を、通常工具による切削実験で測定される切削抵抗 ( $F_H$ ,  $F_V$ ) と比較検定を行って、一定の測定精度の  $F$ ,  $N$  (分割工具による測定値) のみを取り出し、データとして採用した。なお、試験片の切削幅 ( $b$ ) は、切削中の  $T_2$  ナイフの刃先の剛性を保持し得る  $b$  として、既報<sup>9)</sup>と同様に、 $b = 6 \text{ mm}$  (高比重材) ~  $10 \text{ mm}$  (低比重材) の範囲を採用した。

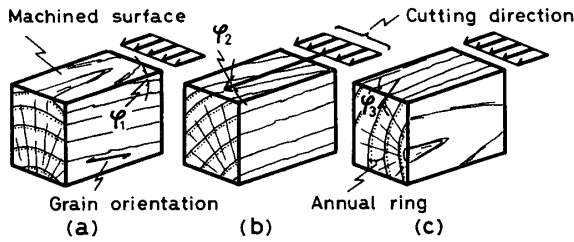


Fig. 1. Shape of test specimens.

Machined surface of wood : (a) flat grain face; (b) fastard grain face; (c) edge grain face;  $\varphi_1$ : angle of grain orientation of wood being cut to machined surface;  $\varphi_2$ : inclination of diagonal grain in machined surface to cutting direction;  $\varphi_3$ : angle of annual rings of test specimen to machined surface.

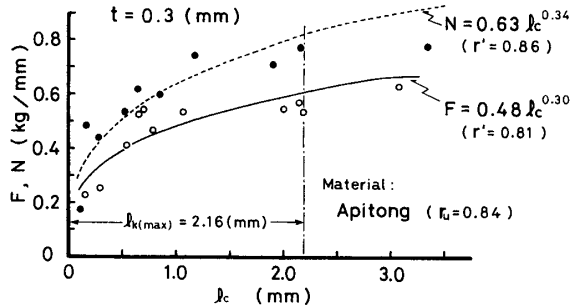


Fig. 3. An example of frictional force ( $F$ ) and normal force ( $N$ ) with rake face length ( $l_k$ ).  $r_u$  and  $t$ : refer to Fig. 2;  $r'$ : correlation coefficient;  $l_{k(max)}$ : maximum value of tool-chip contact length measured (mm).

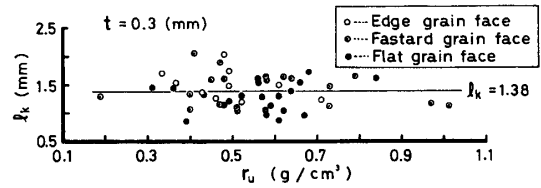


Fig. 2. Variation of tool-chip contact length ( $l_k$ ) with specific gravity ( $r_u$ ).

$t$ : depth of cut (mm).

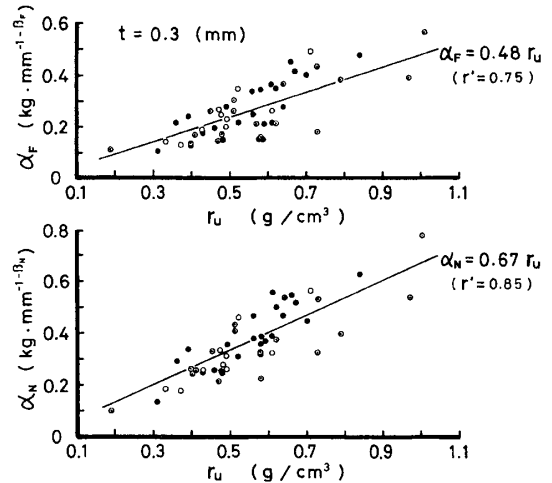


Fig. 4. Relation between values of coefficients ( $\alpha_F, \alpha_N$ ) in Eq. (5) and specific gravity ( $r_u$ ). Marks and  $t$ : refer to Fig. 2;  $r'$ : refer to Fig. 3.

測定を行うためには、すくい面と切屑との接触長さ  $l_k$  が比較的大きく、しかも切削中の  $l_k$  の変動が少ないことが必要である。そこで、このような意味あいから、先割れあるいは開き破壊発生直前の切削抵抗が極大を示す部位に限定し、この限られた部位におけるすくい面の切削応力分布などを測定することとした。まず、 $T_2$  ナイフすくい面長さ  $l_c$  の範囲を明確にする必要から、 $l_k$  の測定を行った。この結果の一例を Fig. 2 に示す。図は、切削中の  $l_k$  の平均値を、切削面の相異ごとに  $r_u$  との関係で示したものである。切削面の相異による  $l_k$  の変化は顕著には現れず、しかも  $l_k$  と  $r_u$  との相関は認められなかった。この傾向は、いずれの  $t$  においても同様の傾向を示した。この結果から、 $t=0.3$  mmでは、Fig. 2 のように、いずれの切削面、いずれの材においても平均的な  $l_k=1.38$  mmを切屑接触長さとし、この  $l_k$  を  $l_c$  のおおよその限界値とした。なお、 $t=0.5$  および  $0.7$  mmでは、 $l_c=2.14, 2.78$  mmであった。これらの  $l_k$  の測定の際、切屑の曲率半径  $\rho$  も測定した。その結果、 $\rho$  は  $r_u$  の変化に伴い著しい変動を示し、 $t$  が大になるにつれ、当然、 $\rho$  は大になるが、いずれの  $t$  においても、 $\rho$  と  $r_u$  との相関は認められなかった。

つぎに、先割れあるいは開き破壊発生直前の切削抵抗の水平分力  $F_H$  および垂直分力  $F_V$  を、通常工具により測定した。 $F_H$  および  $F_V$  は、いずれの切削面、いずれの  $t$  場合も、極めて高い相関で  $r_u$  と比例的な関係が成立し、(1) 式のように表現できる。

$$\left. \begin{aligned} F_H &= \alpha_{F_H} \cdot r_u \\ F_V &= \alpha_{F_V} \cdot r_u \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

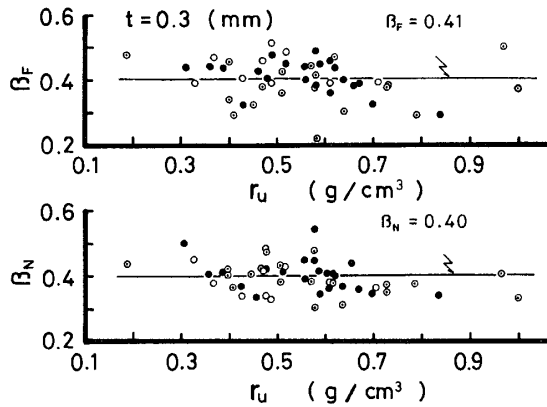


Fig. 5. Relation between values of exponents ( $\beta_F$ ,  $\beta_N$ ) in Eq. (5) and specific gravity ( $r_u$ ). Marks and  $t$ : refer to Fig. 2.

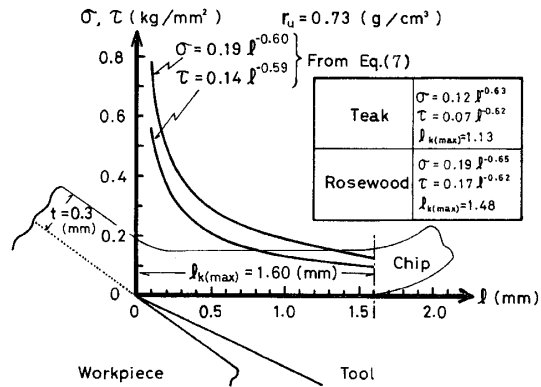


Fig. 6. An example of stress distributions on tool rake face.  $\tau, \sigma$ : frictional and normal stresses;  $l$ : distance on rake face from tool edge;  $l_{k(max)}$ : refer to Fig. 3,  $r_u$  and  $t$ : refer to Fig. 2.

(1) 式の係数の  $\alpha_{F_H}$  (または,  $\alpha_{F_V}$ ) の値を比較すると, いずれの  $t$  においても切削面の相異は顕著に現れず, 統計的に同一とみなし得た。したがってこの研究では, 切削面の相異(即ち,  $\phi_3$ ) の影響を無視し, すべて同一の切削面とみなし,  $F_H$ ,  $F_V$  と  $r_u$  との関係をそれぞれ求めた。その結果も (1) 式のように表現でき, そのときの (1) 式の係数  $\alpha_{F_H}$  (または  $\alpha_{F_V}$ ) は,  $t$  が 0.3, 0.5 および 0.7 mm のとき, それぞれ 1.02 (または, 0.36), 1.31 (または, 0.52) および 1.59 (または, 0.67) の値をとる。

分割工具による切削実験の妥当性を調べるため, 次報で明らかにするが, 刃先先端付近に占める切削抵抗の割合, および工具切れ刃すくい面の摩擦係数  $\mu_1$  を求めるために, (1) 式の  $F_H$ ,  $F_V$  を用いて, 摩擦力  $F$  および垂直力  $N$  を求めた。 $F$ ,  $N$  は, 工具の切削角を  $\theta$  とすると, (2) 式で表される。

$$\left. \begin{aligned} F &= F_H \cos \theta - F_V \sin \theta \\ N &= F_H \sin \theta + F_V \cos \theta \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$F$ ,  $N$  は, 当然, 予想されるように, いずれの  $t$  の場合も,  $r_u$  と比例的な関係が成立した。即ち,

$$\left. \begin{aligned} F &= (\alpha_{F_H} \cos \theta - \alpha_{F_V} \sin \theta) r_u \\ N &= (\alpha_{F_H} \sin \theta + \alpha_{F_V} \cos \theta) r_u \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

(3) 式が得られる。したがって,  $\mu_1$  は (3) 式を用いて,

$$\mu_1 = \frac{F}{N} = \frac{\alpha_{F_H} - \alpha_{F_V} \tan \theta}{\alpha_{F_H} \tan \theta + \alpha_{F_V}} \quad (4)$$

(4) 式で表される。平均的に考えれば,  $\mu_1$  は  $r_u$  とは無関係な (4) 式で表されることになる。

この  $\mu_1$  は, 切削加工におけるクーロン法則と呼ばれるもので, 木材切削では, 切屑生成形態の変化に関係することが報じられている<sup>1)</sup>が,  $\mu_1$  の性格および適用範囲については, 論じられていない。

### 3.2 すくい面に働く切削応力分布の変化

分割工具による切削実験により, T<sub>2</sub> ナイフに加わる摩擦力  $F$  および垂直力  $N$  を測定した。測定結果の一例を Fig. 3 に示す。いずれの条件下においても, Fig. 3 のように,  $F$ ,  $N$  は, すくい面長さ  $l$  の指数関数として, 次式のように表現できる。

$$\left. \begin{aligned} F &= \alpha_f \cdot l_c^{\beta_f} \\ N &= \alpha_N \cdot l_c^{\beta_N} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここで、(5)式の $\alpha_f$ 、 $\alpha_N$ は、それぞれ $l_c=1\text{ mm}$ のときの $F$ 、 $N$ を表す係数である。これらの係数と $r_u$ との関係の一例をFig. 4に示す。通常工具による $F$ 、 $N$ の $r_u$ の変化に伴う変化と同様に、 $\alpha_f$ 、 $\alpha_N$ は、それぞれ $r_u$ と比例的な関係が成立する。一方、(5)式のべき指数 $\beta_f$ 、 $\beta_N$ の一例をFig. 5に示す。同図によれば、 $\beta_f$ 、 $\beta_N$ は、 $r_u$ とはほぼ無関係で、しかも $\beta_f \approx \beta_N$ と考えられる。以上の結果から、(5)式は、 $r_u$ 、 $l_c$ の関数として、(6)式で表現できる。

$$\left. \begin{aligned} t = 0.3 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} F &= 0.48 r_u \cdot l_c^{0.41} \\ N &= 0.67 r_u \cdot l_c^{0.40} \end{aligned} \right. \\ t = 0.5 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} F &= 0.57 r_u \cdot l_c^{0.38} \\ N &= 0.90 r_u \cdot l_c^{0.35} \end{aligned} \right. \\ t = 0.7 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} F &= 0.62 r_u \cdot l_c^{0.38} \\ N &= 1.05 r_u \cdot l_c^{0.36} \end{aligned} \right. \\ t = 0.3 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} \tau &= 0.19 r_u \cdot l^{-0.59} \\ \sigma &= 0.26 r_u \cdot l^{-0.60} \end{aligned} \right. \\ t = 0.5 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} \tau &= 0.22 r_u \cdot l^{-0.62} \\ \sigma &= 0.32 r_u \cdot l^{-0.65} \end{aligned} \right. \\ t = 0.7 \text{ mm} & \left\{ \begin{aligned} \tau &= 0.24 r_u \cdot l^{-0.62} \\ \sigma &= 0.37 r_u \cdot l^{-0.64} \end{aligned} \right. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

切削応力分布の測定原理<sup>3)</sup>に基づいて、(5)式を $l_c$ について微分すると、すくい面に働く切削応力の摩擦応力 $\tau$ および垂直応力 $\sigma$ が求められる。 $\tau$ 、 $\sigma$ は、それぞれ刃先から切屑離脱点にいたるすくい面の距離 $l$ ( $\equiv l_c$ )および $r_u$ の関数として、(7)式で表し得た。得られた切削応力分布のうち、一例として $r_u=0.73$ (この $r_u$ に相当する樹種は、チークとローズウッドである)の場合を考えてみる。(7)式を用いて、計算された切削応力分布の一例をFig. 6に示す。同図にみられるよ

うに、切屑離脱点付近から刃先先端付近に向うすくい面上で、 $\tau$ 、 $\sigma$ ともに指数関数的に増加する傾向を示した。(7)式の $\tau$ 、 $\sigma$ は、 $r_u$ との関係で求めた平均的な実験式であるから、特殊な樹種特性を示す材を除いては、この(7)式により、平均的な切削応力分布、即ち、 $\tau$ および $\sigma$ の分布を推定できると考えられる。

このようなすくい面の切削応力分布(即ち、 $\tau$ および $\sigma$ の分布)の測定結果に基づき、 $\mu$ が木材切削でどのような意味をもつかについては、次報で検討を行う。

#### 4. 結 論

木材の縦切削における工具すくい面に働く切削応力分布を、分割工具を用いて測定した。気乾容積重 $r_u$ の比較的広い範囲にわたる主要樹種50種を切削し、切削応力分布(摩擦応力 $\tau$ および垂直応力 $\sigma$ の分布)の一般的傾向、およびそれらと $r_u$ との関係など、を明らかにした。即ち、 $\tau$ および $\sigma$ は、工具すくい面上の刃先から距離 $l$ および $r_u$ の関数として、(7)式のように表すことができた。これにより、すくい面上の $l$ と $r_u$ を与えれば、 $\tau$ および $\sigma$ のおおよその値を計算することができる。

#### 文 献

- 1) Koch, P.: "Wood Machining Processes", p. 35, N. Y. Ronald Press. Co. (1960).
- 2) 例えば、中村源一、青山経雄：林試研報，No. 93, 69 (1957).
- 3) 杉山 滋：木材学会誌，23, 472 (1977).
- 4) 杉山 滋，菅 都子：木材学会誌，24, 698 (1978).
- 5) 杉山 滋：木材学会誌，23, 480 (1977).
- 6) 杉山 滋，徳山祐治：木材学会誌，24, 612 (1978).
- 7) 杉山 滋：木材学会誌，23, 534 (1977).