

木材の表面加工性状と光沢感の関係

増田 稔・加藤 弘之・堀尾 慶彦

Relation between Properties of Mechanically Processed Surfaces
of Wood and the Gloss Images.

Minoru MASUDA, Hiroyuki KATO and Yoshihiko HORIO

要 旨

ヒノキ、スギ、ウォルナット、セルティスの4樹種について、5種類の異なる表面仕上げ（マイクロトーム、スーパーサーフェーサ、プレーナ、丸鋸、サンドペーパー）を行い、艶のイメージと視覚物理量との関係を調べた。その結果、艶のイメージは鏡面光沢度の対数および光沢尖鋭度の対数と非常に相関が高いことを明らかにした。すなわち、木材のような“細胞構造に基づく凹凸”のある材料では、一般の材料と異なり表面粗さと艶のイメージとの相関は小さく、切削面のミクロな平滑さや細胞内こう面からの反射により、艶のイメージが決定される。従って、マイクロトームを用いて精緻な切削を行えば、細胞内こう面からの反射による艶（シルクライク光沢）をより一層強く得ることができる。このことを落射顕微鏡を用いて観察し確めた。

鋸やプレーナおよびスーパーサーフェーサによる木材切削の精緻さを表わす指標として“繊維に平行方向の投光に対する光沢尖鋭度”を提案した。なお、ここでいう光沢尖鋭度とは、“鏡面反射角（60°）から±10°離れた角度（50°および70°）における受光量”に対する鏡面反射角受光量との比である。

1. 緒 言

木材とプラスチックはいずれも高分子材料であるが、プラスチックがテカテカ反射するのに対して、木材はあたたかくて、上品なあるいは深味のある光沢をもっている。この違いは木材の特徴的な組織構造に基づく光の反射特性の差異に起因するものと考えられる。しかし、同じ木材であっても切削加工仕上げによってその光沢の質は異なり、例えば、鋸挽きで毛羽立った材と、鉋がけされた材では、表面の艶（つや）あるいは“照り”が異なる。本研究ではこのような異なる仕上げ加工における艶（つや）のイメージの違いと、鏡面光沢度、光沢尖鋭度（後述）および表面粗さなど視覚物理量との関係を調べ、木材における艶と表面性状の関係を究明する。

2. 実 験 方 法

2. 1 試片の作製

表面加工性状および艶の見え方が樹種により異なることが考えられるので、次の4樹種——ヒノキ（比重0.47）、スギ（同0.42）、ウォルナット（同0.72）、セルティス（同0.49）を用いて試

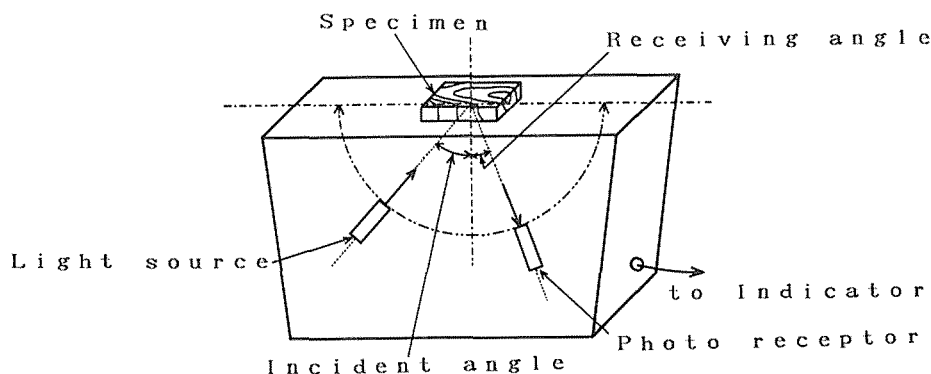


Fig. 1 Optical diagram of a goniophotometer.
変角光沢計の模式図

Table 1. Conditions of surface processings.
表面加工条件

Processing tool	Notes
Circular saw	Carbide tipped circular saw, 255mm ϕ , 4200rpm
Planer	Three braded planer, 5033rpm
Super-surfacer	Bias angle: 40° for hinoki and sugi, 20° for celtis, 15° for walnut
Abrasive paper	AA-180
Microtome	Safety razor S-35

片を作製した。加工面はいずれも板目面および柾目面である。切削加工法としては Table 1 に示す5種すなわち (i) 丸鋸 (チップソー) で切削したままの場合—CS, (ii) それをプレーナにかけた場合—PL, (iii) スーパーサーフェサにかけた場合—SS, (iv) (ii) の後サンドペーパー (AA-180) 上で繊維方向および直角方向に 20 回ずつ手で往復させた場合—AP, (v) (iii) の後ミクロトーム (フェザー工業製 S-35 型刃使用) で切削した場合—MT, の5種である。いずれの試片も最終寸法は、繊維方向 2.5 cm, 幅 1.5 cm, 厚さ 1.5 cm である。

2.2 表面粗さ, 光沢および色彩の測定

表面粗さの測定は、触針式表面粗さ計 (小坂研究所製 SE-3C 型) を用いて、板目面および柾目面の繊維に平行方向および直角方向について行った。測定位置は光沢測定位置とほぼ同一位置内で5カ所とし、曲率半径 $2\mu\text{m}$ の触針を用いて測定長さ 8 mm, カットオフ値 0.8 mm における中心線平均粗さ (R_a) を測定した。

Fig. 2 An example of the questionnaire form.

アンケート用紙例

非常に艶(照り)がある : very glossy

艶(照り)がある : glossy (shiny)

やや艶(照り)がある : a little glossy

艶(照り)がない : no gloss

光沢の測定は、変角光沢計（日本電色工業製 VGS-1 D）を用いて行い、投光角 60° 受光角 60° における鏡面光沢度（JIS Z 8741）、および受光角の変化に伴う反射量の変化を測定した。

色彩の測定は、測色色差計（日本電色工業製 Z-1001 DP）を用いて測定径 6 mm で行った。

2.3 艶のイメージに関する官能検査

上述の物理量と艶のイメージとの関係を明らかにするため、同一試片を用いて艶の官能検査を行った。試片を明度 5 のグレーペーパー（マット仕上げ）の上に並べて置き、各々の艶（照り）のイメージを Fig. 2 に示すアンケート用紙の該当する位置（目盛上でなくてよい、任意の位置）に印をつけて表現してもらった。被験者は京都大学林産工学科学生 16 名（男子 14 名、女子 2 名）で、試片は自由に手に取って種々の角度から見てよいこととした。部屋の照明は自然光と天井の蛍光灯照明を併用し、ブラインドの開閉角により光量を調整した。

3. 結果および考察

3.1 表面粗さおよび光沢の測定結果

3.1.1 表面粗さの測定結果

中心線平均粗さ R_a の測定結果を Table 2 に示す。繊維に直角方向の粗さ R_a は平行方向のそれに比べて大きな値となっている。特に広葉樹であるウォルナットとセルティスでは平行と直交の差は大きい。これは直交走査では細胞を横切るための凹凸頻度が大きく、また道管を横切る

Table 2. Surface roughness R_a ^{a)}
表面粗さ R_a の測定結果

Species	Grain & direction	Microtome	Super-surfacer	Planer	Circular saw	Abrasive paper
Hinoki	$R_{\parallel}$ ^{b)}	1.60	4.64	2.35	2.42	2.38
	$R_{\perp}$	2.96	6.60	5.64	3.37	1.88
	$T_{\parallel}$	2.21	3.25	2.01	3.56	2.63
	$T_{\perp}$	2.34	3.91	3.14	4.30	1.85
Sugi	$R_{\parallel}$	1.61	2.91	2.74	3.07	2.31
	$R_{\perp}$	2.73	3.27	4.76	5.31	2.32
	$T_{\parallel}$	1.84	2.64	2.70	4.48	2.55
	$T_{\perp}$	2.48	2.88	5.51	5.15	1.66
Walnut	$R_{\parallel}$	3.37	1.73	2.57	3.91	2.73
	$R_{\perp}$	5.71	6.55	7.05	5.69	3.06
	$T_{\parallel}$	1.84	1.71	1.32	2.40	2.57
	$T_{\perp}$	4.21	5.16	4.05	7.81	5.16
Celtis	$R_{\parallel}$	2.58	2.71	1.95	4.67	3.67
	$R_{\perp}$	4.91	7.77	6.39	6.09	3.60
	$T_{\parallel}$	1.91	3.36	3.59	2.56	3.78
	$T_{\perp}$	6.73	9.32	6.70	7.35	4.66

^{a)} average of measurements on 5 different lines, R_a : center line average roughness

^{b)} hinoki: *Chamaecyparis obtusa* Endl., sugi: *Cryptomeria japonica* D. Don, walnut: *Juglans nigra* Linn., celtis: *Celtis philippinensis* Blanco, R: radial plane, plane of edge grain or quarter sawn grain, T: tangential plane, plane of flat sawn grain
The measuring direction is — $\parallel$: parallel to the grain,
 $\perp$: perpendicular to the grain.

Table 3. Specular glossiness.
 鏡面光沢度 G

Species	Grain & direction	Microtome	Super-surfacer	Planer	Circular saw	Abrasive paper
Hinoki	R _∥	9.1	7.1 (63)	4.9 (58)	4.5 (57)	2.7 (55)
	R _⊥	6.1	5.1	4.3	4.0 (56)	2.4 (55)
	T _∥	7.8	7.2 (58)	5.2	3.6	2.6 (58)
	T _⊥	5.5	5.3	4.4	3.6 (54)	2.2 (50)
Sugi	R _∥	9.4	5.3 (59)	4.6	4.3 (59)	3.6
	R _⊥	6.6 (58)	4.4	4.0	3.4	3.2
	T _∥	12.3 (63)	5.2 (59)	5.5 (62)	3.2	3.2
	T _⊥	5.4 (57)	4.2	4.3	3.5 (63)	3.2
Walnut	R _∥	4.5	3.9	3.9	3.7 (63)	2.1
	R _⊥	3.7	3.7 (62)	3.8 (73)	2.7	2.0
	T _∥	4.7	4.0	5.1	4.1 (61)	1.6
	T _⊥	3.2 (64)	3.3	4.2	3.1	1.2
Celtis	R _∥	8.4 (61)	6.3 (58)	7.5 (61)	5.1 (59)	3.9 (55)
	R _⊥	6.8	5.6 (55)	5.9	5.0 (55)	3.4
	T _∥	5.5 (58)	4.6 (57)	4.8	5.3 (58)	3.6
	T _⊥	4.2 (55)	3.8 (58)	4.1	4.1 (62)	3.3 (55)

Angle of incidence is 60°.

Each value in parentheses indicates reflectance angle (deg) at which maximum glossiness was measured. Others are 60°.

ためと考えられる。加工法による差は顕著ではないが、サンドペーパー仕上げと、ミクロトーム仕上げの粗さは他の3種の加工法に比較してやや小さい傾向が認められた。

3.1.2 光沢度、変角光沢および光沢尖鋭度の測定結果

各試片の鏡面光沢度（以下では単に光沢度と呼ぶことにする）を Table 3 に示す。表面仕上げの方法により光沢度は異なり、ミクロトーム＞スーパーサーフェーサ≒プレーナ≒丸鋸（チップソー）＞サンドペーパー仕上げの順で光沢度は大きく異なる傾向がある。また、ミクロトーム仕上げにおいては、繊維に平行方向に投光した場合の方が直角方向に投光した場合よりもかなり大きな光沢度が得られる。このことは、ミクロトームを用いて毛羽立ちなく細胞壁を切断した場合、細胞壁の切断面での反射のみならず、平行方向の投光においては細胞内こう（底面）に入射した光もまた、毛羽立ちで散乱あるいは阻止されることなく正反射し、光沢度が大きくなることを示している。一方直角方向に投光した場合は、細胞内こう（側面および底面）へ入射した光は内こう内で再反射して鏡面反射方向へはほとんど反射しないと考えられる。参考までに、Fig. 3 に、スギのミクロトーム切断面を落射顕微鏡を用いて撮影した例を示す。真上からの光に対し、多くの細胞内こう面（底）から真上に向かって鏡面反射する様子が観察される。これに対して、サンドペーパー仕上げをした面では、多くの細胞の毛羽立ちによって散乱が生じ、細胞内こう面からの正反射は弱くなる（Fig. 4）。また、加工面の違いによる光の反射性状の違いは、投光角を固定して受光角を変化させた場合の受光量の変化（変角光沢曲線）により顕著に観察され、その結果の一例を Fig. 5 に示す。ミクロトーム切削では繊維に平行方向の投光に対して、前述のように、切断面および内こう表面からの正反射が大きく、60°を中心に鋭いピークが観察されるが、繊維に直角方向の投光に対しては、それよりもなだらかな曲線となる。サンドペーパー仕上げの場合、平行投光も直角投光もいずれも明確なピークをもたない反射曲線となる。

従って、切断面の鋭さあるいは精緻さを、“繊維に平行方向の投光に対する変角光沢曲線の鋭

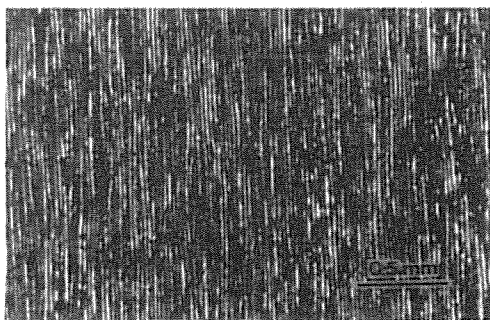


Fig.3 Microscopic photo of wood (sugi or Japanese cedar) surface cut with the microtome observed under normal incident light - tangential plane.
ミクロトーム切削されたスギ表面の落射顕微鏡写真 - 板目面

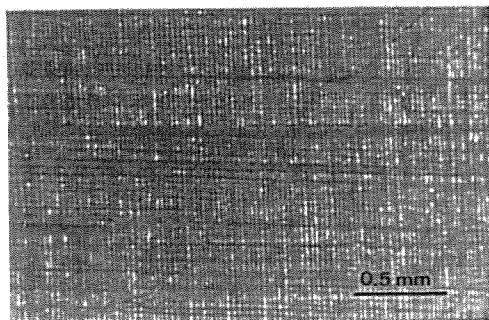


Fig.4 Microscopic photo of wood (sugi or Japanese cedar) surface sanded with the abrasive paper observed under normal incident light - tangential plane.
サンディングされたスギ表面の落射顕微鏡写真 - 板目面

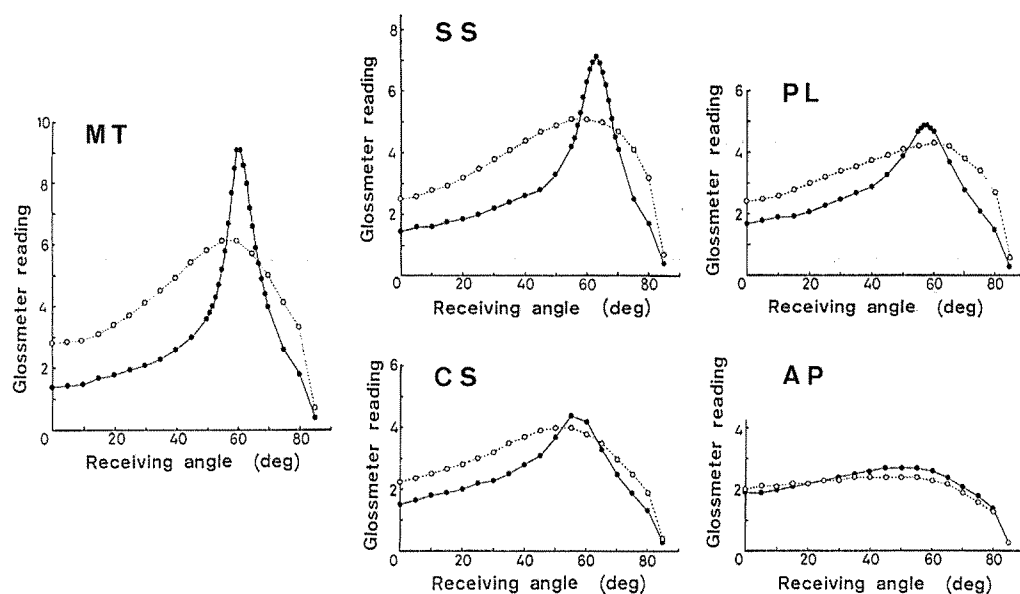


Fig.5 Goniophotometric curves of reflected light of five different mechanically processed wood (hinoki or Japanese cypress) surfaces - radial plane.

5種類の異なる機械的加工表面（ヒノキ柾目）の反射光分布曲線

Incident angle is 60° .

●: incident parallel to the grain

○: incident perpendicular to the grain

MT: microtome, SS: super-surfacer, CS: circular saw, PL: planer,

AP: abrasive paper

さ”で表現する方法が考えられる。すなわち“鏡面反射角（ 60° ）から $\pm 10^\circ$ 離れた角度（ 50° と 70° ）での受光量の平均値に対する鏡面反射角での受光量との比”を用いることを提案し、これを光沢尖鋭度と呼ぶことにする。Table 4に表面仕上げによる光沢尖鋭度の違いを示す。繊維に平行方向に投光した場合には表面仕上げにより尖鋭度が大きく異なっているのに対し、直角

Table 4. Kurtosis of gloss : S
光沢尖鋭度 : S

Species	Grain & direction	Microtome	Super-surfacer	Planer	Circular saw	Abrasive paper
Hinoki	R ₄₅	2.4	2.1	1.5	1.4	1.0
	R ₁₅	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
	T ₄₅	2.4	1.9	1.6	1.4	1.1
	T ₁₅	1.2	1.2	1.1	1.1	1.0
Sugi	R ₄₅	2.9	2.0	1.7	1.6	1.1
	R ₁₅	1.2	1.1	1.1	1.1	1.1
	T ₄₅	3.2	2.1	2.0	1.5	1.1
	T ₁₅	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
Walnut	R ₄₅	2.1	1.7	1.6	1.6	1.1
	R ₁₅	1.1	1.2	1.1	1.1	1.2
	T ₄₅	2.5	1.8	2.0	2.2	1.1
	T ₁₅	1.1	1.1	1.1	1.2	1.1
Celtis	R ₄₅	1.9	1.5	1.9	1.5	1.1
	R ₁₅	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0
	T ₄₅	1.5	1.4	1.5	1.5	1.0
	T ₁₅	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0

S: kurtosis of the distribution of reflectance.

$$S = 2 \times \rho_{60^\circ} / (\rho_{50^\circ} + \rho_{70^\circ})$$

ρ indicates reflecting power and the subscript indicates receiving angle.

Table 5. Anisotropy of specular glossiness (// $\perp$)
鏡面光沢異方度 (// $\perp$)

Species	Grain	Microtome	Super-surfacer	Planer	Circular saw	Abrasive paper
Hinoki	R	1.49	1.39	1.14	1.13	1.13
	T	1.42	1.36	1.18	1.00	1.18
Sugi	R	1.42	1.20	1.15	1.26	1.13
	T	2.28	1.24	1.28	0.91	1.00
Walnut	R	1.22	1.05	1.03	1.37	1.05
	T	1.47	1.21	1.21	1.32	1.33
Celtis	R	1.24	1.13	1.27	1.02	1.15
	T	1.31	1.21	1.17	1.29	1.09

方向の投光ではいずれの場合も 1.1 程度となり表面仕上げの方法による違いはほとんど認められない。それゆえここに、“繊維に平行な投光における光沢尖鋭度”を表面仕上げの質を評価する指標として提案したい。

また、もう一つの指標として、繊維に平行投光と直角投光との鏡面光沢度の比が考えられる。その比を Table 5 に示す。これもまた表面の加工精度がよいほど相対的に大きな値が得られる。しかし、比重の小さい樹種ほど細胞内この占める割合が大きく、従って直交投光における散乱が大きくなり、大きな // $\perp$ 比が得られる傾向が見られる。このことを考慮すると前述の光沢尖鋭度の方が加工精度の指標としてはより適していると考えられる。しかし、平行・直交比は受光角を変えられない光沢計でも測定できるという長所はある。

Table 6. Result of the visual judgement of gloss image.
艶（照り）のイメージに関するアンケート結果

Species	Grain	Microtome	Super-surfacer	Planer	Circular saw	Abrasive paper
Hinoki	R	4.2	4.5	2.9	2.1	0.8
	T	4.5	3.4	2.7	2.3	0.7
Sugi	R	5.3	4.2	2.9	2.8	0.9
	T	5.6	4.5	3.0	3.3	1.6
Walnut	R	3.7	3.4	3.3	1.6	0.7
	T	2.9	2.9	3.1	2.0	0.8
Celtis	R	5.0	4.4	3.7	2.7	1.0
	T	4.9	3.8	3.4	3.1	1.3

0 : 艶（照り）がない, no gloss.

2 : やや（照り）がある, a little glossy.

4 : 艶（照り）がある, glossy (shiny).

6 : 非常に艶（照り）がある, very glossy (extremely glossy).

3.2 艶（照り）のアンケート結果

艶のイメージに関するアンケート結果を Table 6 に示す。Fig. 2 に示すように“艶（照り）がない”から“非常に艶（照り）がある”まで4段階を0から6点の数字に変換して集計を行い、その平均値を Table 6 に示した。ミクロトーム仕上げではスギの艶が非常に大きく、次いでセルティスが大きく、ヒノキがその次となり、ウォルナットは艶のイメージが小さい。これは、精緻に切削された試片では比重の小さい材ほど内こう面からの反射が大きいたことが主な原因であろうと考えられる。また一方、比重の大きい材ほど精緻な切削が困難であるということも関係しているものと思われる。なお、板目面と柾目面では特にどちらの方が艶が大きいたとは決め難い。サンドペーパー仕上げではいずれの樹種もほとんど艶がなく、丸鋸切削の方が艶があり、それよりはプレーナ仕上げ、さらにスーパーサーフェーサの方がより艶があり、ミクロトーム仕上げが最も艶がある結果となっている。このことと Table 3 の鏡面光沢度の測定結果を比べると、鏡面光沢度の大きいものほど艶がある傾向が読み取れる。人の知覚は物理量に対し、一般に対数的で

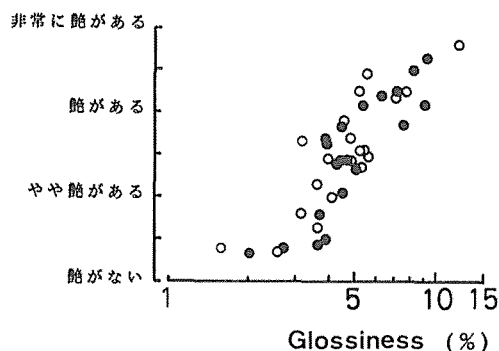


Fig. 6 Relation between psychological gloss image and specular glossiness G_0 (parallel to the grain).
艶のイメージと鏡面光沢度 G_0 （繊維に平行投光）の関係
● : radial plane
○ : tangential plane

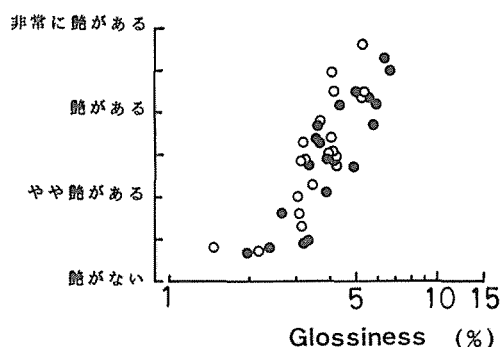


Fig. 7 Relation between psychological gloss image and specular glossiness G_1 (perpendicular to the grain).
艶のイメージと鏡面光沢度 G_1 （繊維に垂直投光）の関係
● : radial plane
○ : tangential plane

Table 7. Correlation coefficients between gloss image and physical properties.
艶のイメージと物理量との相関係数

Physical measurement	Correlation coefficient
$\log G_{\parallel}$: glossiness - parallel to the grain	0.84
$\log G_{\perp}$: glossiness - perpendicular to the grain	0.81
$G_{\parallel}/G_{\perp}$	0.46
$G_{\parallel}-G_{\perp}$	-0.55
$\log S_{\parallel}$: kurtosis - parallel to the grain	0.79
$\log S_{\perp}$: kurtosis - perpendicular to the grain	0.39
V: lightness, Munsell value	0.06
$\log R_{a\parallel}$: roughness - parallel to the grain	-0.17
$\log R_{a\perp}$: roughness - perpendicular to the grain	0.22

Table 8. Mutual correlation coefficients between physical properties.
物理量相互の相関係数

	$R_{a\parallel}$	$R_{a\perp}$	$G_{\parallel}$	$G_{\perp}$	$G_{\parallel}-G_{\perp}$	$S_{\parallel}$	$S_{\perp}$	V	$G_{\parallel}/G_{\perp}$
$R_{a\parallel}$	1.00								
$R_{a\perp}$	0.28	1.00							
$G_{\parallel}$	-0.27	-0.07	1.00						
$G_{\perp}$	-0.17	0.06	0.88	1.00					
$G_{\parallel}-G_{\perp}$	-0.31	-0.19	0.89	0.58	1.00				
$S_{\parallel}$	-0.35	-0.07	0.80	0.63	0.80	1.00			
$S_{\perp}$	-0.24	0.13	0.27	0.29	0.20	0.46	1.00		
V	0.22	0.12	0.21	0.37	0.00	-0.29	-0.39	1.00	
$G_{\parallel}/G_{\perp}$	0.32	0.09	-0.47	-0.47	-0.90	-0.79	-0.16	0.02	1.00

あるので、鏡面光沢度の対数と艶のイメージとの関係をプロットすると Figs. 6 および 7 となる。これらの相関係数を求めると、繊維に平行投光 $G_{\parallel}$ で 0.84、直交投光 $G_{\perp}$ で 0.81 が得られた。他の視覚関連物理量との相関係数についても計算を行い Table 7 に示す。光沢尖鋭度 $S_{\parallel}$ の対数と艶のイメージとの相関は 0.79 でありかなり高いが、 $\log S_{\parallel}$ と $\log G_{\parallel}$ も相互に相関が高く (Table 8 参照)、光沢尖鋭度そのものが艶のイメージに関与しているかどうか判断し難い。

一般の材料では、光沢と表面粗さは相関が高い¹¹⁾が、材料を木材に限定すると、艶のイメージと表面粗さには相関が認められない (Table 7)。従って木材は他材料と比較すると表面粗さの割に艶を感じさせる。また、光沢度の大きさの割に他材料と比較して艶のあるイメージを与える。これらはいずれも細胞内こうから光るマイクロな反射 (シルクライク光沢) によるものと考えられる。

4. 結 言

以上、ヒノキ、スギ、ウォルナット、セルティスの 4 樹種について、5 種類の異なる表面仕上げ (マイクローム、スーパーサーフェーサ、プレーナ、丸鋸、サンドペーパー) を行い、艶のイメージと視覚物理量の関係を調べた。その結果、艶のイメージは鏡面光沢度の対数および光沢尖鋭度の対数と非常に相関が高いことが明らかとなった。すなわち、木材のような“細胞構造に基づく凹凸”のある材料では、一般の材料と異なり表面粗さと艶のイメージとの相関はなく、切削面のマイクロな平滑さや細胞内こう面からの反射により、艶のイメージが決定される。従って、ミ

クロトームを用いて精緻な切削を行えば、より一層艶のあるイメージを与えることができる。また、細胞内こうの大きい材ほどその艶すなわちシルクライク光沢は大きい。そこで落射顕微鏡を用いて切削仕上げ方法による細胞内こうからの反射の違いを観察し確めた (Figs. 3 および 4)。

一方また、木材切削の精緻さを表す指標として“繊維に平行方向の投光に対する光沢尖鋭度”を用いることを提案した。なお、ここでいう光沢尖鋭度とは鏡面反射角受光量と“鏡面反射角 (60°) から $\pm 10^\circ$ 離れた角度における受光量”との比である。

謝 辞

本研究を進めるにあたり助言をいただいた佐道 健教授、試片作製および粗さ測定に御協力いただいた林産機械学研究室の諸氏およびアンケート調査に協力いただいた学生諸君に対し、心より感謝の意を表します。

文 献

- 1) 増田 稔: 木目模様とイメージ——木目模様はなぜ好まれるか——, 木材工業, 38 (434), 222-228, 1983.
- 2) 増田 稔: 木材のイメージに与える色彩および光沢の影響, 材料, 34 (383), 972-978, 1985.
- 3) 岡島達雄・林 裕二: 建築仕上げ材料の艶の評価に関する研究, 日本建築学会構造系論報, No. 360, 1-9, 1986.
- 4) 増田 稔: 第4章 木材の視覚特性, 木質環境の科学, 海青社, 99-114, 1987.

Summary

In this paper, the relation between physical properties of mechanically processed wood surfaces and the gloss images were investigated. Wood surfaces processed with five different tools *i.e.* a microtome, a supersurfacer, a planer, a circular saw and an abrasive paper were compared using four different species *i.e.* hinoki (Japanese cypress), sugi (Japanese cedar), walnut and celtis. And the following results were obtained: the psychological image of gloss has high correlation coefficient with logarithm of specular glossiness measured parallel to the grain, and also with kurtosis (sharpness) of gloss. The kurtosis of gloss is defined by the ratio of the specular glossiness to the glossiness at the $\pm 10^\circ$ deviated from the specular receiving angle. Roughness of the surface R_a has no correlation with the gloss image of wood in spite of the high correlation in other materials *e.g.* plastics and metals. This difference comes from the micro structure of wood. Processing by microtome offers a finely flat section of wood cell walls, so that light reflects specularly at the fine section and also at the inner surface of lumens. We propose S_g "the kurtosis or sharpness of the gloss parallel to the grain" as a good indicator for expressing the degree of fineness of mechanically processed *i.e.* sawed, planed or microtomed surfaces.