

木材の光沢異方性および 細胞内こう面からの反射について

加藤 弘之・増田 稔

Anisotropic Gloss of Wood and Light Reflection
at the Surface of Lumina

Hiroyuki KATO and Minoru MASUDA

要 旨

木材特有の上品な光沢は、絹の光沢と同様微小な凹面からの反射が主因であると考えられ、木材の細胞内こう面からの反射がどの程度強いものであるかを目切れ角（もぐり角） α を持つ試験体を用いることにより明らかにした。すなわち、入射角 θ に対して木材細胞壁の切断面からの鏡面反射は受光角 θ でとらえることができ、細胞内こう面からの反射は $\theta \pm 2\alpha$ においてとらえることができる。ヒノキ材の $\alpha = 10^\circ$ および 15° の傾斜試験体を用いた測定結果では内こう面からの反射が壁切断面反射より大きく、また入射角が 60° より 45° の方が、すなわち入射角が小さい方が内こう面からの反射が相対的に強くなることが明らかとなった。またビンタンゴールのように比重が高く、細胞内こう径の小さい材では内こう面からの反射は相対的に小さかった。一方、偏光を用いた変角光沢測定を行ない、内こう面からの反射および壁切断面からの反射のいずれにおいても表皮での鏡面反射成分の占める割合が他の角度より大きいことが確められた。さらにまた、落射顕微鏡により細胞内こう面の光る状態を観察し、写真撮影を行なった。

1. 緒 言

木材のもつ「自然さ」、「暖かさ」のイメージ¹⁾を安価に表現するために木目を印刷した建材や家具部材をよく見かける。しかしそれらは長く用いていると「深味」において本物の木材に劣ると感じる場合が多い。その大きな要因として、印刷木目にはヒノキやスギ材に顕著に見られる上品な「照り」がないことが考えられる。それは単なる塗装などで得られる艶ではなく、絹のような質感すなわちシルクライク光沢²⁾である。これは、絹繊維にやや凹の切断面が存在し、ミクロな凹面鏡のような反射が生じると同じように、木材の細胞内こう面のやや凹となった底面からやはりミクロな凹面鏡のような反射が生じることに根源がある。しかもよく研がれた鉋で削られた材面の方がはるかによい光沢を与える。本研究ではこのような細胞内こう面からの反射あるいは光沢がいかに大きいものであるかを、少し繊維傾斜した試験体を用い光沢を測定することによって明らかにした。

2. 実験方法

2. 1 試験体の作製³⁾

ヒノキ (比重 0.45), セルティス (同 0.51), ビンタングール (0.63), ウォールナット (0.70) の気乾材を用いて, Fig. 1 に示すように繊維に平行 (0°) から, 5° , 10° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° , そして直角 (90°) までの 9 種の異なる繊維傾斜角 (もぐり角, diving angle) をもつ板材— $5\text{ cm} \times 5\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ (厚さ) を 1 本の角材から切り出した。この板材からさらに 2 cm (繊維方向) $\times 1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ の自動一面鉋盤 (サーフェーサ) 仕上げ試験体と, ミクロトーム仕上げ試験体を作製した。

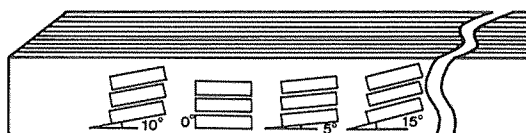


Fig. 1 Diagram for cutting out specimens from lumber.

2. 2 反射特性の測定

反射特性の測定には変角光沢計 (日本電色工業製 VG-IP 型) を用いて行なった (Fig. 2)。投光角 θ としては主として 60° および 45° を用い, 0° から 85° まで受光角を 5° 刻みに変化させたときの受光量の変化を測定した。なお, 投光角と受光角が等しい場合の測定値 (%) が JIS Z 8741 の鏡面光沢度に相当する。

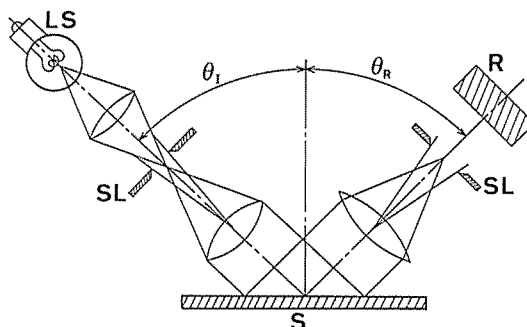


Fig. 2 Optical diagram of goniometric gloss-meter. LS: light source, S: specimen, SL: slit, R: receptor θ_i : incident angle, θ_r : receiving angle

また, 反射における表皮反射成分と層内反射成分を分離測定するため, Fig. 3 に示すように投光側と受光側に偏光板をもつ変角光沢測定装置¹⁾ (京都大学工学部松浦研究室製) を用いた測定も一部の試験体について行なった。

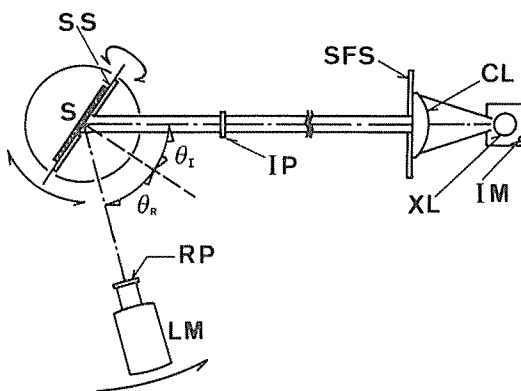


Fig. 3 Optical diagram of goniometric gloss-meter with polarizers. CL: convex lens, IM: illumination photometer, IP: incident polarizer, LM: luminance meter, RP: receptor polarizer, S: specimen, SS: specimen stage, SFS: source field stop, θ_i : incident angle, θ_r : receiving angle.

3. 結果および考察

3. 1 反射異方性

Fig. 4 に繊維に平行に投光した場合と, 直角に投光した場合における反射特性の違いの一例を示す。柾目面および板目面いずれも繊維に直角に投光した場合には, 細胞内こう面の側面に入射した光が散乱反射して正反射角 (この場合は 60°) での反射が小さくなるとともに他の反射角への反射が

多くなり、Fig. 4 に示すようになだらかな反射曲線になる。一方、繊維に平行方向の投光では細胞壁切断面のみならず細胞内こう面からもあまり散乱することなくほとんど正反射するので、鋭い反射曲線が得られる。すなわち、木材は見る方向により光沢度が異なる光沢異方性をもっていることが分かる。なお、切削加工および樹種による異方度への影響については著者らの別報⁵⁾に詳述される。

3. 2 細胞内こう面からの反射と細胞壁切断面からの反射

繊維走向が表面に平行な通常の試験体では、細胞内こう面からの正反射と壁切断表面からの正反射を分離することができない。そこで、繊維を表面に対して傾斜させた試験体を作製し、両者の分離を試みた。Fig. 5 に繊維走向を 10° (もがり角 α) 傾斜させて切削したヒノキ試験体の変角反射曲線を示す。ただし、投光方向は繊維に平行で

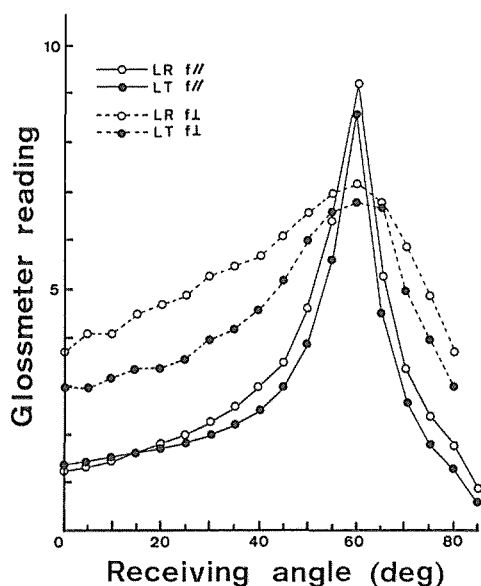


Fig. 4 Anisotropy of reflection - hinoki 0° (LR, LT), incident angle: 60° .: Fiber direction (diving angle) is parallel to the measured surface. LR: LR plane, LT: LT plane, f//: The incident plane is parallel to the grain. f⊥: The incident plane is perpendicular to the grain.

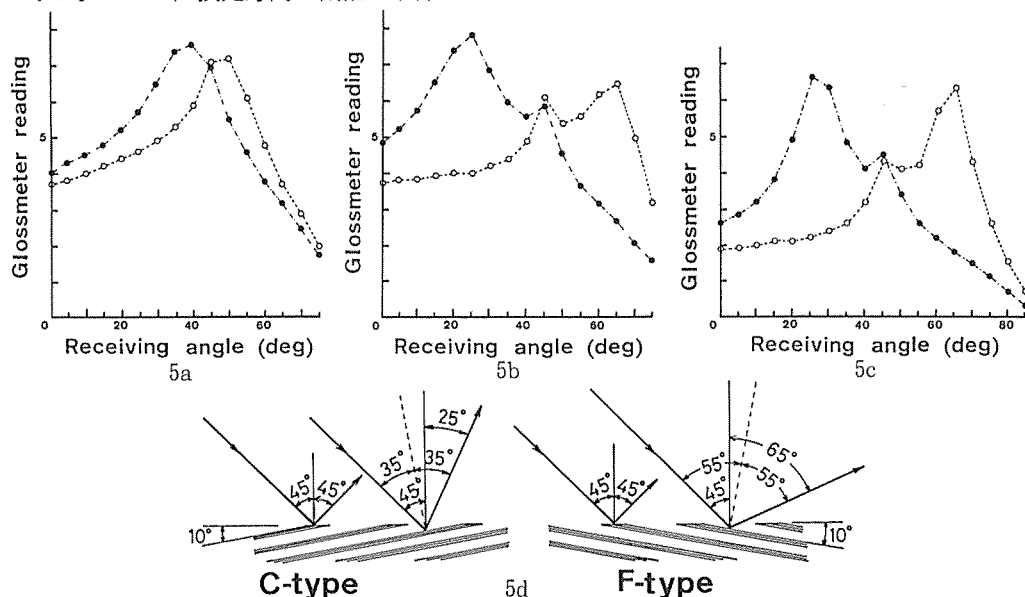


Fig. 5 Goniometric reflection curves - hinoki, incident angle: 45° .
 ●: C-type, ○: F-type (see Fig. 5d, same as in Figs. 6, 7, 9 and 10)
 a Planed surface, LR 10° .
 b Microtomed surface, LR 10° .
 c Microtomed surface, LT 10° .
 d Diagram showing difference of reflections at cut surface of fibers and at lumina.

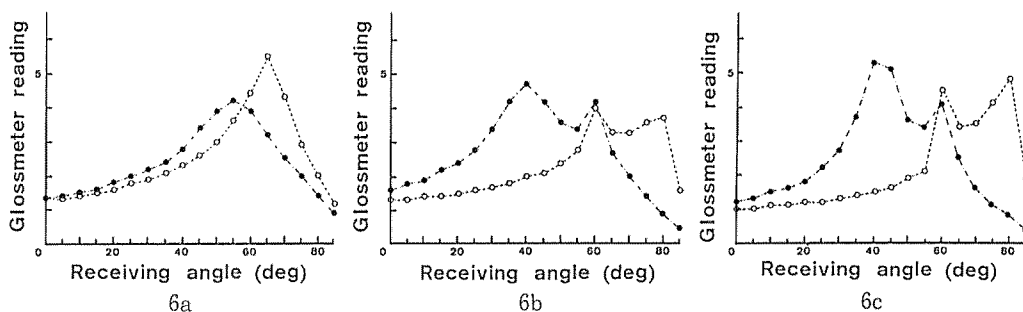


Fig. 6 Goniometric reflection curves — hinoki, incident angle: 60°

a Planned surface, LR 10°

b Microtomed surface, LR 10° .

c Microtomed surface, LT 10° .

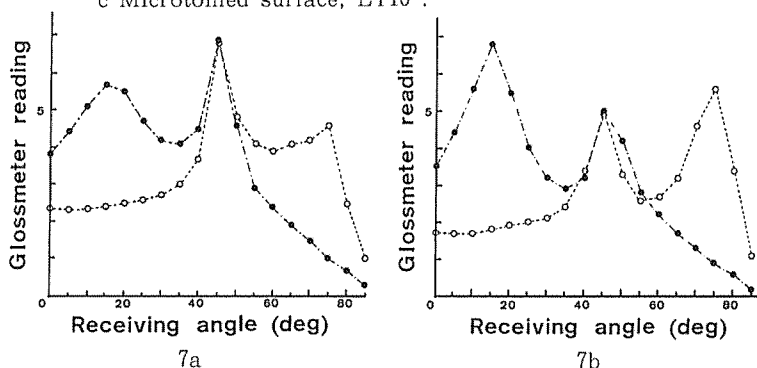


Fig. 7 Goniometric reflection curves — hinoki, microtomed surface, incident angle: 45° . a: LR 15° , b: LT 15°

ある。Fig. 5 b および 5 c はマイクロームを用いて精緻に切削した試験体であり、柾目 (LR)、板目 (LT) とともに切削表面での正反対のピーク (45°) のほかにも内こう面からの反射の大きなピークが $45^\circ \pm 10^\circ \times 2$ すなわち 25° と 65° に認められる (内こう面からの反射のメカニズムは Fig. 5 d を参照)。一方 Fig. 5 a はサーフェーサで切削した場合であり、繊維が毛羽立つため上記のように細胞壁切断面と内こう面からの反射の分離が明確でなく、 $45^\circ \pm 5^\circ$ においてピークをもつ反射曲線となっている。

Fig. 6 は入射角を表面に対して 60° とした場合であり、b および c では Fig. 5 と同様に明確な分離が認められる。また Fig. 7 は、繊維傾斜 (もぐり角 α) 15° 、入射角 45° の場合であり、やはり細胞内こう面からの反射成分が明確に分離されている。

偏光を用いた場合の結果を Fig. 8 に示す。縦軸が対数目盛なので尖り方がまろやかであるが、P-P (入射面に平行な偏光入射に対する同方向の反射) の反射曲線に 25° と 45° にピークがあり、切断面および内こう面において表皮反射が大きいことが分かる。偏光を用いることにより表皮・層内各成分を分離して、光沢面の反射曲線の解析を行なう偏光解析については連沼⁶⁾が例証を挙げて考察しており、最近では松浦ら¹⁾の反射指向特性についての研究が興味深い。筆者らの研究においてもこの手法の有効性が確められたので、今後さらに検討を重ねていきたい。

以上、ヒノキについて述べたが、Fig. 9 にセルティスの測定結果を示す。繊維傾斜角 10° 、入射角 45° であるが、同一条件のヒノキ (Fig. 6 b, c) と比較して内こう面からの鏡面反射による 65° のピークが見られず、また 25° のピークは鈍い。このことは、セルティスの内こう面からの反射が小さい、すなわちシルクライク光沢が小さいことを示している。

また、ビンタンゴールの測定結果を Fig. 10 に示す。同一測定条件のヒノキ (Fig. 5 b, c) と比較して内こう面からの反射 (40° , 80°) が非常に小さいことが認められ、ビンタンゴールはシルクライク光沢が小さいことが分かる。また、ウォールナットにおいてはさらにシルクライク光沢が小さい。

3. 3 繊維傾斜角 (もぐり角) による光沢度の変化

節周りの傾斜した繊維は見る角度により明暗が大きく変化する。交錯木理におけるリボンもくもまた同様であるが、Fig. 11 にヒノキの繊維傾斜角に伴う鏡面光沢度の変化を示した。入射角 60° に対する受光角 60° での光沢度であるが、繊維傾斜角 (もぐり角) の増加とともに急激に光沢度が低下することが分かる。従って、節周りの目切れなどの少しの繊維傾斜変化で見え方が玉虫的に大きく変化する要因が、この反射特性に起因していることが理解できる。なお、繊維傾斜角 α が小さい範囲では、前述のように入射角 θ に対して $\theta \pm 2\alpha$ において内こう面からの反射が存在する。ところで、Fig. 11 a において 60° で、また Fig. 11 b において 30° で小さなピークが見られるが、これはいわゆる仮道管効果 (Tracheid effect)⁷⁾ の可能性も考えられるが、試験体間のバラツキによる可能性も高く、各角度毎に 1 試験体のみしか測定に供

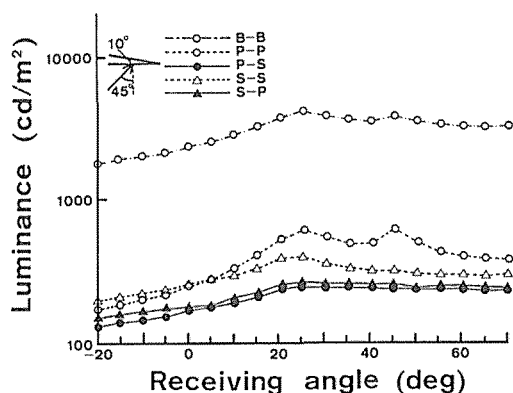


Fig. 8 Goniometric reflection curves measured with polarizers — hinoki: LR10°, microtomed surface.

Incident angle to the cut surface: 45° , incident angle to the lumen surface: 35° .

B-B: without polarizers,

P-P: Incident light is polarized parallel to the incident plane. Receptor polarizer is also parallel to the incident plane.

P-S: Incident light is polarized parallel to the incident plane. Receptor polarizer is perpendicular to the incident plane.

S-S: Incident light is polarized perpendicular to the incident plane. Receptor polarizer is perpendicular to the incident plane.

S-P: Incident light is polarized perpendicular to the surface plane. Receptor polarizer is also parallel to the surface plane.

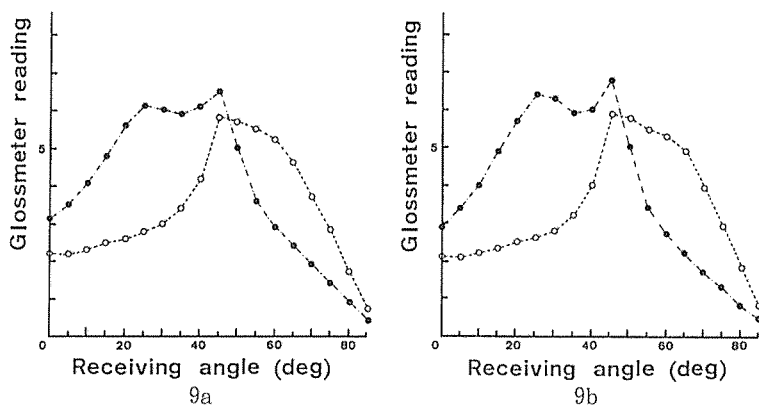


Fig. 9 Goniometric reflection curves — celtis, microtomed surface, incident angle: 45° . a: LR10°, b: LT10°

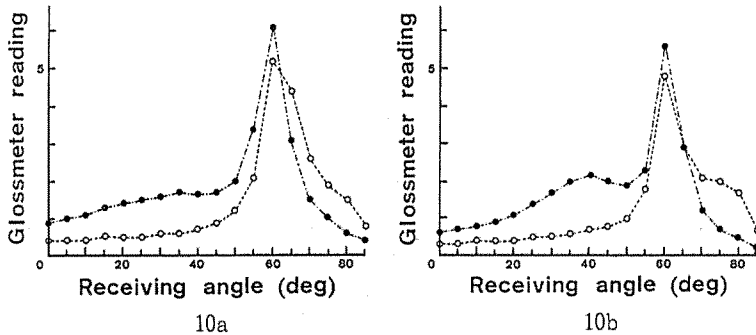


Fig. 10 Goniometric reflection curves — bintangor, microtomed surface, incident angle: 60° . a: LR10°, b: LT10°

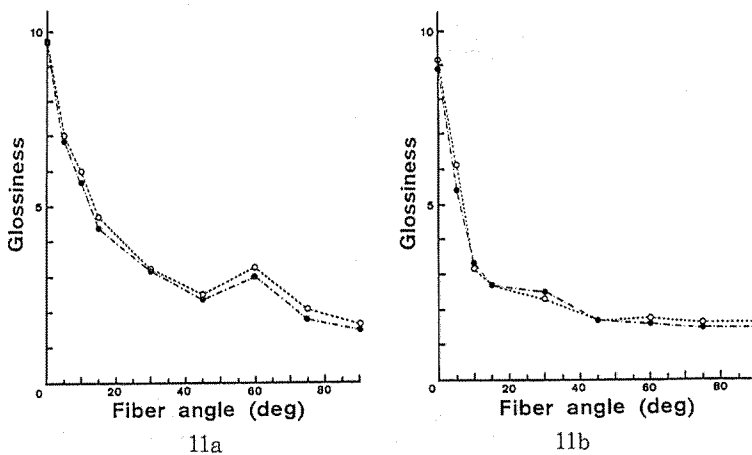


Fig. 11 Influence of fiber angle on the glossiness — hinoki, microtomed, incident angle: 60° .

○: C-type, ●: F-type (see Fig. 5d)

a LR $0^\circ \sim 90^\circ$, 0° = LR plane, b LT $0^\circ \sim 90^\circ$, 0° = LT plane

していないので、いずれが主因かは判断し難い。

3. 4 落射顕微鏡による観察

Photos 1～6に観察面に垂直な方向から光を与えた場合の落射顕微鏡写真を示す。ヒノキの柾目、板目とも内こう面がよく光っていることが観察される (Photos 1, 2)。Photos 3, 4はセルティスであり, Photos 5, 6はビンタンゴールの柾目と板目である。ビンタンゴールでは内こうよりも切断面からの反射が強く感じられる。これらの写真はいずれもミクロトーム仕上面の入射角 0° —受光角 0° の光沢に相当するものであり, ヒノキの仮道管の配列によるとみられる明るさのむらがあることが分かる。また仮道管以外に放射組織の内こう面もよく光る。セルティス, ビンタンゴールでは木繊維および道管の内こう面と壁断面での反射による光沢が示され, とくにビンタンゴールでは交錯木理による影響とみられる特異な光沢のパターンが現われる。樹種や構成要素の細胞の種類によって内こう面の性質が大きく異なるとは考えられないが, 木理の通直性や細胞束の配列度, 曲率, 細胞径の大小, 充填内容物, 面の微小な凹凸等の影響を受けると考えられる内こう面での反射には, 加工の精粗によって決まる細胞壁断面の反射と異なり, いわば素顔のままの光沢が最もよく表われているものといえよう。この観察では入射角と反射角がともに 0° であることと, すべての部位にピントを合わせることができないことなどの制限がある。今

Photo

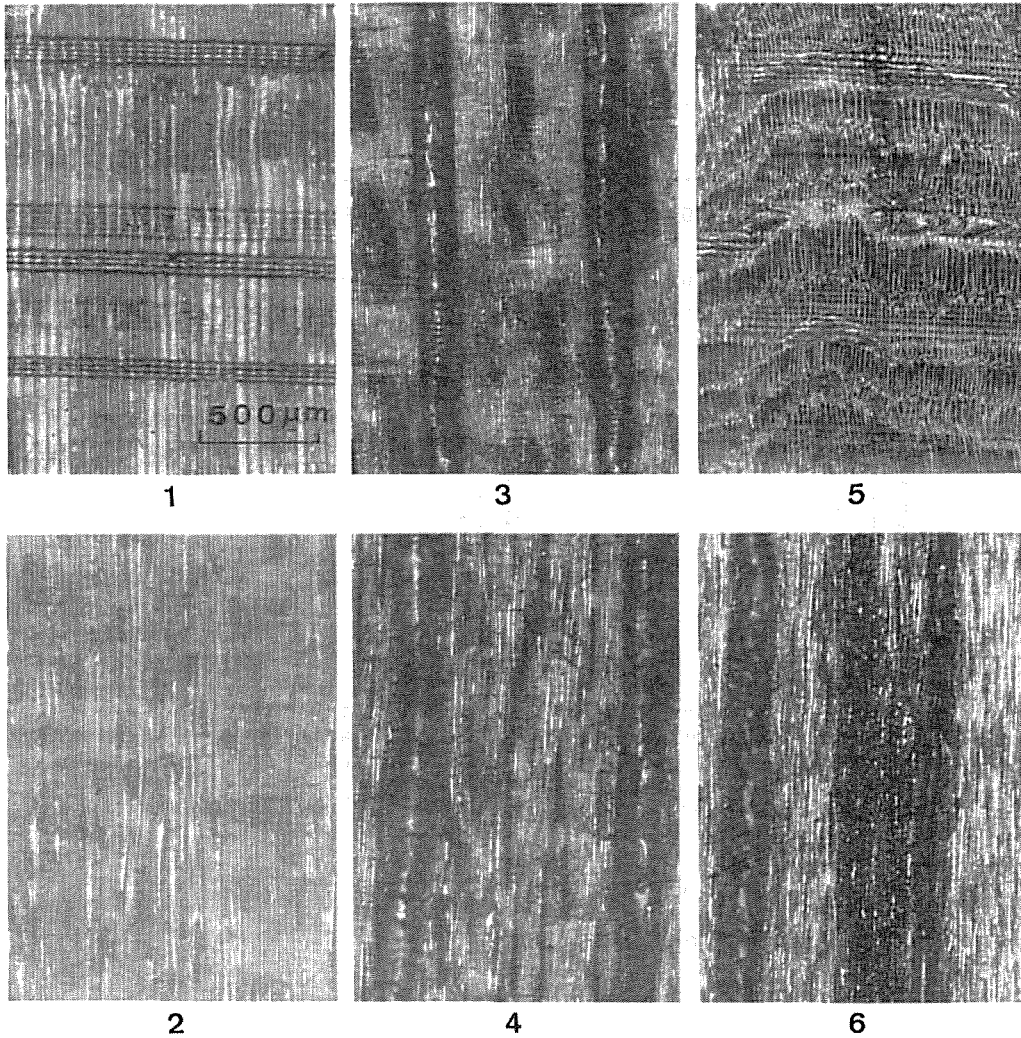


Photo 1 Incident microscopic photo of radial plane of hinoki. The magnification scale is the same in Photos 1~6.

Photo 2 Incident microscopic photo of tangential plane of hinoki.

Photo 3 Incident microscopic photo of radial plane of celtis.

Photo 4 Incident microscopic photo of tangential plane of celtis.

Photo 5 Incident microscopic photo of radial plane of bintangor.

Photo 6 Incident microscopic photo of tangential plane of bintangor.

後の課題として、任意の角度からの微小面照明の可能な方法を用いて写真画像を得ることが考えられる。

4. 結 言

以上、主としてヒノキを用いた光沢異方性および細胞内こうからの反射について述べた。

(1) 柾目面、板目面いずれにおいても繊維走向に直角に投光した場合には細胞内こう壁面で光が散乱して、まろやかな変角光沢曲線になるのに対し、平行に投光した場合には鋭い曲線となる。この光沢異方性が印刷木目にはない本物の質感の主要因子と考えられる。

(2) 細胞内こう面からの反射がいかにかい大きいものであるかを明らかにするため、繊維が表面に対して α° 傾斜している試験体を作製して、入射角 θ で光沢を測定した。その結果、細胞内こう面からの反射($\theta \pm 2\alpha$)と壁切断面からの反射(θ)を分離することができ、ヒノキにおいて細胞内こう面からの反射が非常に強いことを明らかにした。ビンタンゴールのように内こうの小さい材(比重の大きい材)においては内こう面からの反射は小さかった。偏光板を用いた変角光沢測定により、内こう面からの反射および壁切断面からの反射には、表面での鏡面反射成分が大きいことが明らかとなった。

(3) 板目および柾目面から木口面へと繊維が表面に対して傾斜する(もぐり角)に伴い光沢がどのように変化するかを測定し、少しのもぐり角で鏡面光沢度が大きく低下することを明らかにした。

今後の課題としては、樹種による「照り」の違いとその要因をさらに詳細に究明することであり、例えば、単に細胞径が大きければ「照り」が大きくなるのか、他に関与する因子があるのではないかと、また、細胞壁切断面からの反射と内こう面からの反射にどのような質的差があり、光沢のイメージにどのように影響しているかなどを明らかにする必要があるだろう。

謝 辞

本研究を行なうにあたり有益なご助言とお励ましをいただいた木材工学研究室佐道 健教授、試験体作製等にご協力いただいた奥村正悟助教授および林産機械学研究室の各位、偏光を用いた反射測定に種々の便宜を与えて下さった本学工学部建築学科の松浦邦男教授および測定にご協力いただいた同学科上谷芳昭氏、また、本研究のとりまとめに際してご助力いただいた林産工学教室高見純子事務官、以上の各位に対しここに深く感謝の意を申し述べる。

文 献

- 1) 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
- 2) 増田 稔: 木材の視覚特性, 木質環境の科学, 山田 正編, 海青社, 99 ~ 114, 1987
- 3) 加藤弘之・増田 稔: 第36回日本木材学会大会講演要旨集・240, 1986
- 4) 松浦邦男: 木質材料の反射指向特性, 木質環境の科学, 海青社, 88 ~ 98, 1987
- 5) 増田 稔・加藤弘之・堀尾慶彦: 木材の表面加工性状と光沢感の関係・京大演報, 61, 1989
- 6) 蓮沼 宏: 光沢, コロナ社, 47 ~ 59, 1968
- 7) P.C. Mathews: Wood, Light, and Objective Scanning, 2nd International Conference on Scanning Technology, 1 ~ 12, 1987

Résumé

The primary cause of the characteristic gloss of wood is thought to be reflection of light at many micro concaves i.e. lumina like as gloss of silk. To separate reflection at inner surface and at cut surface of cell walls, specimens with inclined fiber (diving angle α) were made with microtome. Goniophotometric curves of specimens showed two types of peaks of specular reflection; the one peak at θ showing reflection at cut surface of cell walls and the others at $\theta \pm 2\alpha$ showing reflection at surface of lumina. In the case of hinoki (Japanese cypress) the intensity of the reflection at surface of lumina was stronger than that at cut surface of cell walls. But in the case of heavy wood like bintangor, reflection at surface of lumina was considerably small.

Measurement of specular glossiness of specimens with different diving angle α was also carried out. The glossiness decreased greatly with small inclination of the fiber direction.

Surface boundary reflection and scattered reflection were separated by means of goniophotometry using polarized light. Microscopic observation under vertically incident light was also carried out.