木材表面境界層における熱および水分の移動

井 阪 三 郎*

Heat and Vapour Movement through the Boundary-Layer on the Drying Wood Surface

By

Saburo ISAKA

1. 序　論

水は立木にとっては生活に欠くべからざるものであるため，常に根から補給されているが，伐採されてからは補給がたたれるので，外気の温度湿度により，それぞれに相当する含水率で平衡する。生木を乾燥せずに使用すると，使用中に水分が減少し，その結果長さの縮少，角度の変化，反り，狂い等を生じ，木材の価値を甚だしく減少させる。そのため古来から天然乾燥が行なわれていたが，近来は材料および資金の回転を早くすると共に，所望の含水率まで乾燥させるために，加熱を利用した人工乾燥が普及している。

この人工乾燥操作の中で，重量減少経過を把握することは，乾燥の終了時を知るばかりでなく，乾燥途中における欠点の出現を最少限に止めるためのスケジュールを決定する上にも，重要な意義を持っている。従来は，乾燥桟積の代表的場所に試験材を置き，その重量変化から全体の重量変化を推定していた。このためには一定時間毎に乾燥室内に入り，試験片の重量測定を行なわなければならない不便がある。最近のように記録装置が発達して来ると，温度湿度の変化は容易に記録することが出来，調節の精度も向上して来た。しかし，重量変化の記録は，スプリングの重量変化に伴なう長さの変化を差動変圧器で記録したり，天秤の重量変化に伴なう錘の位置の変化を差動変圧器で記録したり，板バネの両面にワイヤーストレーンゲージを貼り，重量変化に伴なう反りの変化をブリッヂ回路で取り出したりして行なうことが出来るが，何れも乾燥室内のような狭い処では測定が困難であり，実用化されていない。ただ電気式含水率計の極板を乾燥室内に入れておき，含水率の変化を外で観察することは可能であるが，まだ実施している処は少ない。

---

* 岐阜大学農学部

このような不便さを解消するため何か良い方法はないかと考えてみた。乾湿球寒暖計が蒸発量の多い時は温度差が大きくなる原理を利用するならば，木材からの蒸発が盛んな時には外気と木材の温度差が大きくなるはずで，木空の温度差を測定記録させれば，蒸発量の変化，重量減少経過を容易に外部から記録出来るはずである。

このような目的から研究を始めたが，木材表面からの蒸発を考えるためには，どうしても木材表面の空気膜を考慮に入れないと解決出来ないので，今回はこの境界層における熱および水分の移動を中心に行なった実験の一部を取りまとめ報告することにした。

2.　木材乾燥の理論

木材の乾燥に当たり，表面からの蒸発は，木材の表面温度，表面含水率および環境空気の温度，関係湿度，風速に関係する。換言すれば境界層における水蒸気圧傾斜に関係する。一方木材内部における水分移動は，比重，繊維の方向，材温に関連する木材の拡散係数と木材中の水分傾斜に関係している。

一般に緻密な厚い固体の乾燥経過は，内部の拡散が時間的にも主要因子となるので，乾燥開始後直ちに表面が外界空気と平衡する含水率になると仮定して計算されている。しかし実際には表面の含水率が刻々に変化し，その表面含水率に関連して表面蒸発速度がきまってくるはずである[9,12]。厚い木材の場合は，内部拡散が遅いため，表面含水率は平衡含水率に近く，表面を最初から平衡含水率になっているものとみなしても大きな誤差を生じないので，実用上は冷却の際の熱拡散の式を使ってもさしつかえない[9]。

しかし乍ら薄い含水率の高い単板のような場合には，恒率乾燥が長く，減率乾燥に入ってからも，表面含水率が平衡含水率より高い時期が割合に長いために，厚板の場合と異なった乾燥経過をたどる。この様な場合には表面の含水率の変化する状態を考慮に入れる必要があり，前記の熱拡散の式を用いることは出来ない。

そこで今回は，厚い場合も薄い場合も同一理論が使えるように，木材表面からの蒸発と，木材中の水分移動とを組合せる方法につき検討を加えたので報告する。

2·1　表面蒸発

木材は外気の温度と関係湿度が与えられると，それに対応した含水率で平衡する。逆に木材の温度と含水率が与えられると，木材の表面の関係湿度が決定されることになり，木材表面温度と木材表面関係湿度から木材表面の蒸気圧が決定されることになる。又木材表面の蒸気圧と外気の蒸気圧が与えられると，その面のおかれる関係位置即ち垂直，水平等の関係と風速により，表面境界層における拡散係数がきまり，蒸発速度が決定されるはずである。

これは乾湿球寒暖計において，空気が乾燥していて蒸発の盛んなときの乾湿球温度差

は大きく，蒸発量と温度差が比例するのと同じであるから，先ず最初に乾湿球寒暖計の理論を考えてみる必要がある。

乾 球 温 度	t_a
湿 球 温 度	t_w
外気の蒸気圧	P_a
湿球の蒸気圧	P_w
湿球の表面積	A
水蒸気の拡散係数	k
熱伝達係数	α
蒸 発 潜 熱	r
蒸 発 速 度	$\frac{dw}{d\theta}$
熱 移 動 量	$\frac{dQ}{d\theta}$

とすると

$$\frac{dw}{d\theta}=kA(P_w-P_a) \tag{1}$$

$$\frac{dQ}{d\theta}=\alpha A(t_a-t_w) \tag{2}$$

$$\frac{dQ}{d\theta}=r\frac{dw}{d\theta} \tag{3}$$

(1)(2)(3) を組合せると

$$\alpha A(t_a-t_w)=rkA(P_w-P_a)$$

即ち

$$P_w-P_a=\frac{\alpha}{kr}(t_a-t_w)=K(t_a-t_w) \tag{4}$$

$$P_a=P_w-K(t_a-t_w) \tag{5}$$

(5) 式で t_a, t_w は測定することが出来，P_w は湿球温度 t_w における飽和蒸気圧で表より求めることが出来，又 $\frac{\alpha}{kr}$ 即ち K は直径 4 mm 程度の湿球の場合には，実験的に風速 2 m 以上では約 0.5 であるので，空気の蒸気圧 P_a を求めることが出来る訳である[5,6]。

この実験値を風速との関係として求めてみると[6] 次の如くなる。

$$K=\frac{(1.00+1.30\,V^{0.927})+1.20}{2.5(1.00+1.30\,V^{0.927})} \tag{6}$$

ここに V は風速で，(6) 式を (4) に代入すれば

$$P_w - P_a = \frac{(1.00+1.30\ V^{0.927})+1.20}{2.5(1.00+1.30\ V^{0.927})}(t_a - t_w) \tag{7}$$

$$(1.00+1.30\ V^{0.927})(P_w - P_a) = 0.4\{(1.00+1.30\ V^{0.927})+1.20\}(t_a - t_w) \tag{8}$$

となり，蒸発に関係する左辺は拡散即ち風速の大小により影響を受け，熱の移動に関係する右辺は拡散即ち風速の大小と，風速に関係のない輻射の影響を受けていることを表わしている。この風速の大小に影響を受ける拡散は，水分蒸発の場合も熱移動の場合も同一境界層を通る訳であるから，同一の影響を受けるはずであり，風速が大きくなれば，境界層が薄くなり，蒸発速度および熱移動量が大きくなることを示している。一方輻射は表面の黒度即ち輻射係数に関係し，風速には影響を受けないので，これ等を総合すると，水分蒸発と熱移動とに対する風速の影響は異なって来て，K の値が風速により変化する訳である[17]。

この関係を木材乾燥に応用するならば，輻射と風速の両因子を利用して，風速に対する影響を求めておけば，木材の表面温度と空気温度の差を測定することにより，蒸発速度を推測出来ることになる。又木材からの蒸発量を合計して行くことにより，含水率の減少経過も知り得ることになる。

外気条件が一定であれば，乾湿球寒暖計の場合には定常状態となり，湿球温度が一定値を示すが，一方木材乾燥の場合には，段々と表面が乾き，乾燥速度が小さくなり，表面温度は気温に近づいてゆくので，空気から補給される熱量が全部蒸発は使われる訳でなく，一部が材温の上昇にも消費される。そのためこれが誤差となり，蒸発の為に使われるエネルギーに比べ，材温上昇に使われるエネルギーが無視出来ない場合には，更に一層複雑な現象となるので，注意を要する。

一方外界の関係湿度 H_e と木材の平衡含水率 U_e の関係は $H_e > 30$ では

$$(30 - U_e)^2 = a(100 - H_e) \tag{9}$$

で表わされ[10]，温度の影響は関係湿度の影響に比べると非常に小さい (Fig. 1)。今 U_X を乾燥途中の木材の表面含水率とし，H_X を木材表面の関係湿度とすると，同様に

$$(30 - U_X)^2 = a(100 - H_X) \tag{10}$$

となり，(9) 式より

$$a = \frac{(30 - U_e)^2}{100 - H_e}$$

であるから

$$(30 - U_X)^2 = \frac{(30 - U_e)^2}{100 - H_e} \cdot (100 - H_X)$$

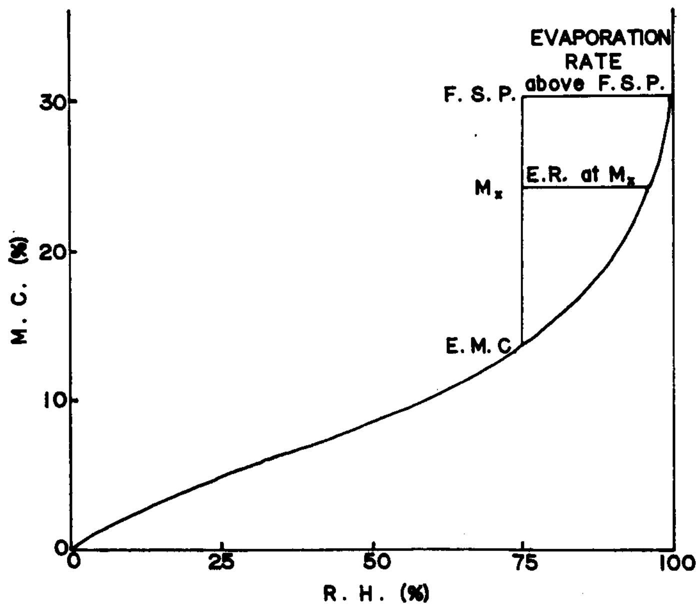

Fig. 1. Relation between moisture content and the surrounding atmospheric condition of wood surface.

From this figure we may calculate the moisture content and the surrounding atmospheric condition of wood surface by the ratio of evaporation rate.

$$H_X = 100 - \frac{(30-U_X)^2}{(30-U_e)^2}(100-H_e) \tag{11}$$

となる。乾燥途中における表面含水率が与えられると，そのときの木材表面の関係湿度を求めることが出来，蒸発速度を決定することが出来る。

他方

外 気 の 温 度	t_a
湿 球 湿 度	t_w
木材表面温度	t_W
t_a の飽和蒸気圧	P_{sa}
t_w の飽和蒸気圧	P_{sw}
t_Wの飽和蒸気圧	P_{sW}
外気の蒸気圧	P_a
木材表面蒸気圧	P_W
外気の関係湿度	H_a
木材表面関係湿度	H_W

とすれば，(4) 式の K の値が 0.5 の場合には

$$P_{sw}-P_a=0.5(t_a-t_w) \tag{12}$$

$$P_W-P_a=0.5(t_a-t_W) \tag{13}$$

(12), (13) 式より

$$P_W=P_{sw}-0.5(t_W-t_w) \tag{14}$$

$$H_a=\frac{P_a}{P_{sa}}=\frac{P_{sw}-0.5(t_a-t_w)}{P_{sa}} \tag{15}$$

又 t_a, t_W, t_w が僅少な間隔であれば，P_{sa}, P_{sW}, P_{sw} は，それぞれの温度と比例関係にあり，

$$P_{sW}=P_{sw}+(P_{sa}-P_{sw})\frac{t_W-t_w}{t_a-t_w} \tag{16}$$

となるので，(14) (16) 式より

$$\begin{aligned}H_W=\frac{P_W}{P_{sW}}&=\frac{P_{sw}-0.5(t_W-t_w)}{P_{sw}+(P_{sa}-P_{sw})\dfrac{t_W-t_w}{t_a-t_w}}\\&=\frac{P_a(P_{sw}-P_a)+(P_{sw}-P_a)(P_W-P_a)}{P_{sa}(P_{sw}-P_a)-(P_{sa}-P_{sw})(P_W-P_a)}\end{aligned} \tag{17}$$

となり，(15), (17) 式より

$$\begin{aligned}H_W-H_a&=\frac{P_a(P_{sw}-P_a)+(P_{sw}-P_a)(P_W-P_a)}{P_{sa}(P_{sw}-P_a)-(P_{sa}-P_{sw})(P_W-P_a)}-\frac{P_a}{P_{sa}}\\&=\frac{P_{sw}(P_{sa}-P_a)}{P_{sa}(P_{sa}-P_{sw})}\cdot\frac{P_W-P_a}{\dfrac{P_{sa}(P_{sw}-P_a)}{P_{sa}-P_{sw}}-(P_W-P_a)}\\&=\frac{P_{sw}(P_{sa}-P_a)}{P_{sa}(P_{sa}-P_{sw})}\cdot\left\{\frac{1}{1-\dfrac{(P_{sa}-P_{sw})(P_W-P_a)}{P_{sa}(P_{sw}-P_a)}}-1\right\}\\&\fallingdotseq\frac{P_{sw}(P_{sa}-P_a)}{P_{sa}(P_{sa}-P_{sw})}\cdot\frac{(P_{sa}-P_{sw})(P_W-P_a)}{P_{sa}(P_{sw}-P_a)}\\&\fallingdotseq\frac{P_{sw}(P_{sa}-P_a)}{P_{sa}^2(P_{sw}-P_a)}\cdot(P_W-P_a)\end{aligned} \tag{18}$$

となる。即ち $P_{sw}(P_{sa}-P_a)/P_{sa}^2(P_{sw}-P_a)$ は既知であるから，木材表面からの蒸発速度と比例する (P_W-P_a) は (H_W-H_a) にほぼ比例することとなる。

故に Fig. 1 の如く平衡含水率曲線と，外気の関係湿度および繊維飽和点を示す二直線とによってかこまれる図で，平衡含水率曲線上の繊維飽和点を示す点から外気の関係湿度を示す直線までの距離が恒率乾燥時の乾燥速度を示し，表面の含水率を示す点から外気の関係湿度を示す直線までの距離が，その含水率時の乾燥速度を示していることになる。逆に現在木材からの蒸発速度が恒率乾燥時の何 % であるかが判れば，その時の木材表面の含水率を推定することが出来るはずである。このことは SEGOWSKII の測定結果からもう

なづける[18]。

恒率乾燥時の乾燥速度は，各種の実験により，湿球の飽和蒸気圧と外気の蒸気圧の差に比例し，従って乾湿球温度差に比例するから，その比例定数を求めておけば，乾湿球温度差から恒率乾燥の速度を求めることが出来る。又木材表面と外気の温度差を測定し，恒率乾燥時の温度差と比較すれば，その時の木材表面の含水率および蒸発している速度を知ることが出来る訳である。この際風速により，定数が変化するので，乾湿球温度計の風速による係数の変化を出したと同じ方法[6]で，定数を求めておく必要がある。しかし乍ら，水滴の様に小さな物に対しては，一定風速を与え実験することが比較的容易であるが，木材のように大きく，又形が様々なものに対しては理論的にも定数を求めることが，殆んど不可能であると考えられる。そのためそれぞれの場合に，乾湿球温度差と恒率乾燥速度の関係を実測し，これを利用することが特策と考えられる。

上記の関係を式で示すと，恒率乾燥時の木材表面温度を t_{W_0}，蒸発速度を α_0，表面含水率 U_X の時の表面温度を t_W，蒸発速度を α，U_X に相当する関係湿度を H_X，外気の関係湿度を H_e，その平衡含水率を U_e とすれば

$$\alpha_0 = B(P_w - P_a) = A(t_w - t_a) = A'(t_{W_0} - t_a)$$

$$\alpha = A'(t_W - t_a)$$

$$\frac{\alpha}{\alpha_0} = \frac{t_W - t_a}{t_{W_0} - t_a} \fallingdotseq \frac{H_W - H_e}{H_{W_0} - H_e}$$

となり，又(11)式より

$$(30 - U_X)^2 = (30 - U_e)^2 \frac{100 - H_X}{100 - H_e}$$

$$= (30 - U_e)^2 \left(1 - \frac{H_X - H_e}{H_{W_0} - H_e}\right)$$

$$U_X = 30 - (30 - U_e)\sqrt{1 - \frac{\alpha}{\alpha_0}} \tag{19}$$

となり，外気温度と木材表面温度の差を測定することにより，蒸発速度を計算し得るならば，その時の表面含水率を推定することが出来る訳である。

2·2 内部拡散

木材中を水分が移動する場合には，水分の多い処から少ない処へ流れ，その移動量は水分傾斜の大きい程多く，単位傾斜当りの水分移動量を水分拡散係数としている[13]。しかし水分移動量は水分傾斜が同じでも，水分移動に対する抵抗となる木材質の量即ち比重により大小を生じ，水分移動の方向によっても異なる。又木材温度の大小により，移動する水分の粘性および移動する水分の水蒸気圧差の大小が影響をおよぼすので，結局水分拡散

係数は木材の比重，水分移動方向，材温等により異なる。更に研究者によっては，含水率の大小によっても拡散係数が異なるとしている[14]。

このように拡散係数を想定することは，仲々大変であり，含水率により拡散係数が変化する場合には，その水分分布を計算することさえむづかしく，乾燥経過を計算することは不可能に近い[17]。そのため実用的には表面が乾燥開始と同時に平衡含水率に達し，拡散係数は終始一定であると仮定し，厚い材料の場合には冷却の熱拡散方程式を利用して計算している場合が多い[5]。

拡散方程式を求める場合，比重ρ，拡散係数λなる木材中の相隣れる二点の含水率をU_x，$U_{x+\Delta x}$，水分傾斜をR_x，$R_{x+\Delta x}$，Δt時間に面積Sを通過する水分量をW_x，$W_{x+\Delta x}$とすれば，

$$W_x = -\lambda S R_x \Delta t \tag{20}$$

$$W_{x+\Delta x} = -\lambda S R_{x+\Delta x} \Delta t \tag{21}$$

故に二点間の水分減少量は

$$W_{x+\Delta x} - W_x = -\lambda S (R_{x+\Delta x} - R_x) \Delta t = \rho S \Delta x \Delta U \tag{22}$$

よって

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = -\frac{\lambda}{\rho} \frac{R_{x+\Delta x} - R_x}{\Delta x} = \frac{\lambda}{\rho} \frac{\frac{\Delta U}{\Delta x}}{\Delta x} \tag{23}$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{\lambda}{\rho} \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \tag{24}$$

となる[4]。

この微分方程式を，初期含水率をU_a，平衡含水率をU_e，板厚を$2X$とし，木材表面は常に平衡含水率に達していると云う初期条件を用いて解くと[5]

$$\begin{aligned} U_x - U_e = \frac{4}{\pi}(U_a - U_e)\Big[& e^{-\frac{D\pi^2 t}{4X^2}} \cdot \cos\frac{\pi x}{2X} \\ & -\frac{1}{3} e^{-\frac{9D\pi^2 t}{4X^2}} \cdot \cos\frac{3\pi x}{2X} + \frac{1}{5} e^{-\frac{25D\pi^2 t}{4X^2}} \cdot \cos\frac{5\pi x}{2X} - \cdots \Big] \end{aligned} \tag{25}$$

$$\begin{aligned} \bar{U} - U_e &= \frac{8}{\pi^2}(U_a - U_e)\Big[e^{-\frac{D\pi^2 t}{4X^2}} + \frac{1}{9} e^{-\frac{9D\pi^2 t}{4X^2}} + \frac{1}{25} e^{-\frac{25D\pi^2 t}{4X^2}} + \cdots \Big] \\ &\fallingdotseq \frac{8}{\pi^2}(U_a - U_e) e^{-\frac{D\pi^2 t}{4X^2}} \quad (t\text{が大きい場合}) \\ &\fallingdotseq (U_a - U_e)\left(1 - \frac{4}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{D}\sqrt{t}}{2X}\right) \quad (t\text{が小さい場合}) \end{aligned} \tag{26}$$

となるので，t時間目における水分分布およびt時間目の平均含水率を求めることが出来る。

厚さが大きい場合は，平均含水率がまだ多い内に，表面含水率が平衡含水率に近づくので，上記の方程式を用いることが出来るが，厚さが小さい場合には，恒率乾燥の時期が相対的に長くなり，しかも表面含水率が繊維飽和点と平衡含水率の中間にある時期が長くなり，上記の方程式は使用することが出来なくなる。

この際表面含水率をU_Xとすると，U_X-U_eの大小と蒸発速度が比例するならば，厚さが表面抵抗は相当する$2\Delta X$だけ厚い木材の表面が常に平衡含水率になっている時の含水率減少経過を前出の方程式から求め，表面抵抗に相当する$2\Delta X$だけ厚い木材の含水率と，$2\Delta X$を除いた残りの部分の含水率とは常に或る比率だけ相異するので，その比率だけ多い乾燥曲線を求めることが出来，補正すればよい。

しかし表面含水率の大小と，蒸発速度とは，表面蒸発の項で述べた如く比例しない[18]。そこで材中の水分分布を抛物線として，最初に表面含水率U_Xを与えると蒸発速度αが決定され，表面の含水率傾斜と拡散係数とから求めた蒸発速度とを等しいとおくと，平均含水率を求めることが出来る。

即ち抛物線の関係から，中心含水率をU_0とすると

$$\frac{U_0-U_x}{U_0-U_X}=\frac{x^2}{X^2} \tag{27}$$

$$U_0-U_x=(U_0-U_X)\frac{x^2}{X^2}$$

$$\left[\frac{d(U_0-U_x)}{dx}\right]_{x=X}=\left[2(U_0-U_X)\frac{x}{X^2}\right]_{x=X}$$

$$=(U_0-U_X)\frac{2}{X} \tag{28}$$

$$U_0=U_X+\frac{X}{2}\left[\frac{d(U_0-U_x)}{dx}\right]_{x=X} \tag{29}$$

$$\bar{U}=\frac{1}{X}\left[U_0X-\int_0^X(U_0-U_x)dx\right]$$

$$=\frac{1}{X}\left[U_0X-\int_0^X(U_0-U_X)\frac{x^2}{X^2}dx\right]$$

$$=U_0-\frac{U_0-U_X}{3}=\frac{1}{3}(2U_0+U_X) \tag{30}$$

$$U_0=\frac{1}{2}(3\bar{U}-U_X) \tag{31}$$

(29), (31) 式より

$$\bar{U}-U_X=\frac{X}{3}\left[\frac{d(U_0-U_x)}{dx}\right]_{x=X} \tag{32}$$

一方

$$\left[\frac{d(U_0-U_x)}{dx}\right]_{x=X}\cdot\lambda\fallingdotseq\alpha \tag{33}$$

であるから

$$\bar{U}=U_X+\frac{X}{3}\cdot\frac{\alpha}{\lambda} \tag{34}$$

となり，表面含水率，蒸発速度，拡散係数，板厚が与えられると，平均含水率を求めることが出来る。又 U_X に (19) 式を代入すると，

$$\bar{U}=30-(30-U_e)\sqrt{1-\frac{\alpha}{\alpha_0}}+\frac{X}{3}\cdot\frac{\alpha}{\lambda} \tag{35}$$

となり

$$\alpha=f(\bar{U})=\frac{d\bar{U}}{dt}$$

$$\frac{dt}{d\bar{U}}=\frac{1}{f(\bar{U})} \tag{36}$$

$$t=\int\frac{1}{f(\bar{U})}\,d\bar{U} \tag{37}$$

$$\bar{U}=f(t) \tag{38}$$

を求めることが出来る。しかしこの積分は非常に複雑であるので，この近似計算が出来るようになれば，従来の冷却の熱拡散方程式の解より，精度を上げることが出来るようになる。

ここに水分分布を抛物線とみなして計算したが，これを sin 曲線としても同様の計算が出来，又抛物線と sin 曲線とは Table 1 の如く非常に近似しており，誤差が少ないことが判る。

Table 1. Relation between parabola and cosine curve

x	$\frac{\pi}{2}\frac{x}{X}$	cos curve	parabola	x	$\frac{\pi}{2}\frac{x}{X}$	cos curve	parabola
$0\,X$ (center)	0°	1.000	1.000	$5/9\,X$	50°	0.643	0.691
$1/9\,X$	10°	0.985	0.988	$6/9\,X$	60°	0.500	0.556
$2/9\,X$	20°	0.940	0.951	$7/9\,X$	70°	0.342	0.395
$3/9\,X$	30°	0.866	0.879	$8/9\,X$	80°	0.174	0.210
$4/9\,X$	40°	0.766	0.802	$9/9\,X$ (surface)	90°	0.000	0.000

$2\,X$ = thickness

一方水分分布曲線が抛物線であった場合には，その曲線式を一度微分すると水分傾斜の変化曲線となり，二度微分すると各位置の水分減少を表わす曲線となるので，t_1 時における中心含水率を U_{0t_1}，中心より x の位置の含水率を U_{xt_1}，t_2 時における中心より x の位置の含水率を U_{xt_2} とすると

$$U_{xt_1}=U_{0t_1}-ax^2$$

$$U_{xt_2}=U_{xt_1}-b\frac{d^2(U_{xt_1})}{dx^2}=U_{0t_1}-ax^2-2ab$$

となり，各位置の含水率とも前より $2ab$ だけ少ない同じ形の抛物線となる訳である。又表面の水分傾斜は常に一定で，これを逆に考えると，表面含水率が繊維飽和点になるまでは恒率乾燥速度と水分拡散係数によってきめられる木材表面の水分傾斜［(33) 式］をもった抛物線分布のまま，平行的に水分が減少してこなければならない。表面が繊維飽和点を割ってからは減率乾燥となり，水分分布曲線も次第に平らに変化し，中心まで平衡含水率となって乾燥が終了する訳であるから，この間の水分分布曲線は，抛物線から次第に sin 曲線に変化して行かなければならない。

3.　実験装置および方法

木材乾燥の経過を決定するためには，理論の項で述べた如く，板厚，材の水分拡散係数，外気により決定される恒率乾燥時の蒸発係数，最終平衡含水率等が必要となって来る。

そこで実験計画として，先ず木材表面境界層における熱拡散率を求め，木材と空気の温度差による熱の移動量と，水分の蒸発量との関係を求め，木材空気温度差と蒸発量とが比例するかどうか，蒸発速度から計算した拡散係数と別途求めた拡散係数とが一致するかどうか等を検討することとした。

3·1　熱伝達率を求める実験

3·1·1　木材の熱伝導率

外気より木材の表面に入って来る熱量を測定するには，一般に木材の平板の一面を外気にさらし，他面を冷水を一定速度で通し得る熱盤に接せしめ，その水温の上昇割合により求めている[8]。この場合には，熱盤の温度分布のむらや，側面よりの熱の侵入による誤差を生じ，更に設備の複雑さが考えられる。そのため今回の実験では，15 cm 角の熱盤に一定電圧を加え，全発生熱量が熱盤に直角の二方向だけに進むよう，その四周に更に 7.5 cm 幅の熱盤をおき，この両熱盤の接触点における温度差を，16 本シリーズにつないだ熱電対でとりだし，外側の熱盤のヒーターの電流を調節して常に内側の熱盤の温度と同一にし，内側の熱盤から側方に逃げる熱量のないようにした銅製の熱盤を用いた[1]。この熱盤の両面に，対象となるよう 0.75 cm 厚の合板三枚ずつを重ね，これ等をクランプして垂直に立

てて使用した。片側の各合板の間およびヒーター側と表面とにそれぞれ熱電対（銅・コンスタンタン径 0.3 mm）を入れ，その温度変化を記録させた。測定は 40°C の恒温器中で行ない，各点の温度が一定となり，定常状態になったことを確かめてから行なった。電源は定電圧装置を通し，スライダックで所定の電圧とし，電圧，電流値から発生熱量を計算した。この熱量が均等に両面に配分されたとして，各合板の温度傾斜と，内部熱盤の面積とから，熱伝導率を計算した。表面温度は熱電対をセロテープで表面にはりつけ測定したが，内部の三測定点の温度から外挿法により求め確かめた。

その結果ラワン合板（比重 0.57）の熱伝導率は 0.091～0.099 kcal/m-hr-°C となったので，これを利用して次項の熱伝達係数測定の基礎とした。

3·1·2 熱伝達係数

木材表面と外気との間に温度差があるときは，その温度差に比例して熱が移動することは前に述べたが，この値は風速により変り，熱拡散率は 3～300 にわたる広範囲の値を取ることが示されている[5]。これではどの数字を用いるかによって，結果は全く異なってしまうので，実際の乾燥の行なわれている時と同一条件で測定しなければ意味がない。

今回は前記熱伝導率測定装置を利用し，更に合板表面から 5, 10, 20, 100 mm はなれた空気中の各点に 0.3 mm の熱電対を材表面と平行に張り，各熱電対の起電力を記録させるか，又は4本シリーズにつないだ熱電対を，表面から順次離して，各点の温度を測定し表面境界層の温度分布を求めた。試験は熱盤のヒーターの電圧の大小により表面温度および移動熱量を変化させ，木材表面と外気との温度差，熱盤に加えられた熱量および熱盤面積より，熱伝達係数を求め，更にこの装置で表面に直角又は平行に各種の風速の風を当て，風速と熱伝達係数の関係をも求めた。ただし合板表面に直角に風を当てた場合は，盤の表側と裏側で熱伝達係数が異なることは明らかであるから，熱盤で発生した熱量は二方向で異なる量移動するはずで，全熱量の半分ずつが二方向に分れるとは認められない。そのためこの場合には，合板の温度傾斜を求め，先に求めた熱伝導率とから移動熱量を求め，熱伝達係数を求めた。

3·2 水分拡散係数を求める実験

3·2·1 水分拡散係数

ここで水分拡散係数というのは，熱の移動の場合における熱伝導率に相当するもので，一般には，関係湿度の異なる二室の隔壁として一定厚さの木材をおき，一定時間における水分移動量を，調湿のために用いた飽和溶液の一室における重量増加及び他室における重量減少とから求め，水分傾斜は両面がそれぞれの関係湿度に平衡する含水率になっていると仮定して求めるか[14),16)]，非定常状態における水分減少を求め，冷却の式に代入し水分伝導度（熱の場合の拡散係数）を求め，比重から水分拡散係数を求めている[11)]。何れの場合も，

木材表面の含水率は，外気の平衡含水率としているので，誤差が入ることはまぬがれない。

そのため今回は，断面積 3×3 cm，厚さ 2～8 cm の生材試片の一方を，入口 3×3 cm，深さ約 6 cm の真鍮製袴に固定し，袴に入れた水が試片の一方向のみに移動するよう試片の側面をビニールテープで被覆し，全体を 40°C，塩化カルシュームの飽和溶液で調湿したデシケーター中に入れ，一定日数毎にこの試片を袴ごと秤量，減少速度が定常状態になった時の，単位面積当り，単位時間当りの減少量を移動速度とした[3]。その後袴から試片をはずし，水分移動方向に直角に両面から 2～3 mm の厚さに鋸断，各部の含水率を全乾法で計算，鋸道を計算に入れてプロットし，水分分布を求め，更に両表面含水率も外挿法で求め，水分傾斜を求めた。

試料として米ツガを用い，接線方向の水分移動を測定し，水分移動速度を水分傾斜で割って水分拡散係数を求めた。

3·2·2　平衡含水率，表面抵抗

前記の水分拡散係数を測定するに用いた試片の一方は飽湿状態にあり，他方は塩化カルシュームの飽和溶液で調湿してあるので，それぞれの空気条件に対する平衡含水率を測定する必要がある。そのために水又は塩化カルシュームの飽和溶液で調湿し，40°C に保たれた 2 個のデシケーター中に，繊維方向に薄い試片をつるし，恒量となったときの含水率をもってそれぞれの空気条件の平衡含水率とした。

前記の含水率分布を求めた試片の外挿法により求めた表面含水率と，この平衡含水率との間にはかならず相異があるはずで，相異がなければ乾燥も吸湿も行なわれず，その速度は差の大きい程大きいはずである。又水分分布直線を外挿し，平衡含水率と交わった点の材表面からの距離が，表面抵抗といわれるもので[16]，これだけ厚さを厚く考えると表面が平衡含水率と考えてさしつかえない訳で，表面抵抗は材の水分拡散係数により異なることが判る。

3·3　乾 燥 実 験

乾燥速度を決定する外界因子は温度，湿度，風速であるので，木材乾燥試験の場合にはこの 3 条件を一定にする必要がある。乾燥温度は人工乾燥では 60～100°C が使われることが多いが，急速な乾燥は割れ，狂い，表面硬化等を起すおそれが多いので，今回は 40°C を採用した。

実験に用いた恒温恒湿装置の大きさは幅×奥行×高さが，50×60×70 cm で，奥の約 20 cm が温度調節用に使われた。空気の循環は直径 10 cm のプロペラファンを用い，その下に 200 W ニクロム線をはり，更にその下に温度調節用熱電対をおき，室内を 40°C に調節した。調湿は恒温装置の底面に，塩化ナトリュームの飽和溶液を入れたホーローバットをおき，調温された空気を水面に直角にあて，湿度が約 75% になるようにした。風速は

試片のおかれた位置で約 0.02 m/s で，殆んど無風と認めてさしつかえない程度であったが，自然対流によるよりは温度湿度のむらが少なくなるように心掛け，又全空気が循環するようにした。

乾球温度は熱電対により測定記録し，乾湿温度差は熱電対を 10 本シリーズにつなぎ，1つおきに一方を乾球温度用，一方を湿球温度用とし，湿球部をガーゼで覆い下から水をすわせて，乾湿球温度差の 10 倍を記録させた。

乾燥用の試片は直径 10 cm，厚さ 1 cm のものを標準とし，厚さは 0.5〜2.0 cm で変化させた。側面はビニールテープで被覆し，蒸発面を木口面又は柾目面，即ち水分移動の方向を繊維方向又は接線方向になるようにした。

木材と空気の温度差の測定のためには 2 本シリーズの熱電対を用い，一方を木材の表面から約 1 mm の材中に，約 3 cm の深さまで，面に平行に孔をあけ，その中に挿入し，他方をビニールで被覆し室温の上下の振幅の影響を少なくするようにして，空中即ち木材表面から約 10 cm の位置におき，両者の温度差の 2 倍を記録させた。

重量変化は，乾燥試験の初めと終りの試片重量を直示天秤で測定し，途中の重量減少をスプリング秤の縮み量に換え，更に差動変圧器の出力即ち mV に換え記録させた。あらかじめスプリングの伸びと重量の関係をキャリブレーションしておき，最終重量変化量が直示天秤による両測定値の差とほぼ等しくなることを確かめた後，細かい誤差は全域に比例配分することにより修正した。前述の通り木材と空気の温度差を熱電対により記録したため，この熱電対の一部の重量を常に測定していることになり，しかもそのかかってくる重量が，スプリングの伸びた時と縮んだ時とで異なるので，この誤差を最少限にするため，熱電対径 0.3 mm のエナメル被覆銅コンスタンタン線を用い，試片にかかる重量を少なくすると同時に，スプリングの上下によってかかってくる重量の変化する量を最少限にした[2]。

この実験により，重量減少経過から蒸発速度が計算出来るので，蒸発に使われた熱量を求め，他方木材と空気の温度差から木材中に入って来る熱量を先に求めた熱伝達係数から計算し，この両者を比較することが出来た。

乾燥の初期に材温をあらかじめ恒温室の温度まで上げなかったので，木材に入って来た熱量と蒸発に使われた熱量とは，乾燥初期には材温上昇のために使われた分だけ誤差となって現われて来た[2]。又乾燥途中でも木材の温度は，湿球温度から乾球温度まで順次上昇した訳であるから，空気から得られた熱量は蒸発の他に木材温度の上昇に使われたことは明らかであるが，今回の様な余り厚くない試片の場合には，重量減少量の割合に比べ温度上昇の速度が非常に遅く，木材および水分の重量と比熱，温度上昇速度とから温度上昇のために使われた熱量を計算すると，蒸発のために使われた熱量に比べ無視出来ることが

判った。

4. 実験結果および考察

4·1 熱伝達率を求める実験

4·4·1 熱 伝 導 率

測定された結果は Table 2 の如くである。

熱伝導率を測定した材料： 7.5 mm 厚ラワン合板 (気乾比重 0.57) (含水率 5% 以下)

測定面積： $15\times15\ \mathrm{cm}^2=225\ \mathrm{cm}^2$　　外気温度： 40°C

Table 2. Heat conductivity of test pieces.

Voltage	V	18	30
Amperage	A	0.088	0.146
Amount of Heat Flow	kcal/m²-hr	30.3	83.8
Temperature Gradient	°C/m	333	846
Mean Temperature	°C	45	57
Heat conductivity	kcal/m-hr-°C	0.091	0.099

満久[9] によると木材の比重と熱伝導率の関係は，20°C，0% において

$$\lambda_{\perp}=0.02+0.0724\,r_0+0.0931\,r_0^2$$

とされているので，実験材料の比重 0.57 を代入すると，熱伝導率は 0.091 となり，ほぼ妥当な値を示しているものと考えられる。

なお材温と熱伝導率の関係は，材温の上昇と共に大きくなるとされているが，今回の実験は材温変化の範囲も狭く，測定数も少ないので数的関係を求めることは出来なかった。

4·1·2 熱 伝 達 係 数

4·1·2·1 境界層における温度分布　無風状態における境界層の温度分布を測定した結果は Fig. 2 の如くであり，空気温度を基準とした温度の対数と木材表面からの距離との間には Fig. 3 の如く直線関係があり，温度の分布は抛物線とみなされた[15]。

又 Fig. 3 から木材表面温度と気温の差が，大きい場合も小さい場合も，直線の傾斜が殆んど同じで，平行関係にあることが判る。このことは，表面温度を t_s，空気温度を t_a，表面から x の位置の温度を t_x とすると，

$$\log_e(t_s-t_a)-\log_e(t_x-t_a)=bx \tag{39}$$

$$t_x=t_a+(t_s-t_a)\cdot e^{-bx} \tag{40}$$

となり，(t_s-t_a) の大小にかかわらず，b の値が一定ということは，x が同じであれば，(t_x-t_a) は (t_s-t_a) の大小にかかわらず，一定の割合となることで，境界層の厚さが一定で

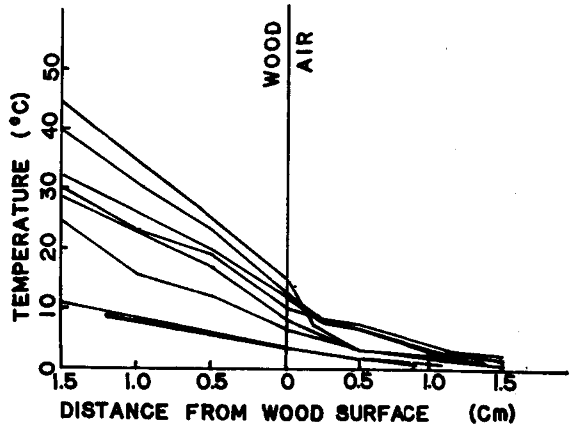

Fig. 2. Distribution of temperature in wood and boundary-layer.

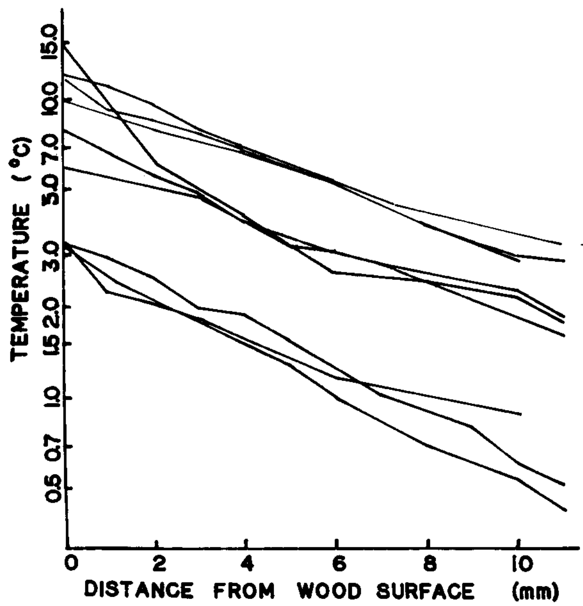

Fig. 3. Distribution of temperature in boundary-layer.

あることを示し，温度傾斜は (t_s-t_a) に比例し，熱拡散率が (t_s-t_a) の大小にかかわらず一定であることを示している。

又境界層の厚さは約1cmで，保温のために空気層を入れる場合，両面に境界層が出来るので，この2倍即ち2cm以上間隔をはなせば，厚さをいくら増加させても空気層の厚さによる効果がないことを示している。

4·1·2·2 風速による熱拡散率変化　風速が大となれば境界層の厚さが薄くなり，温度傾斜が急になり，熱拡散係数が大きくなることは明らかであるが，盤面に直角に風が当たる場合と平行に当たる場合でも熱拡散係数は異なって来る。

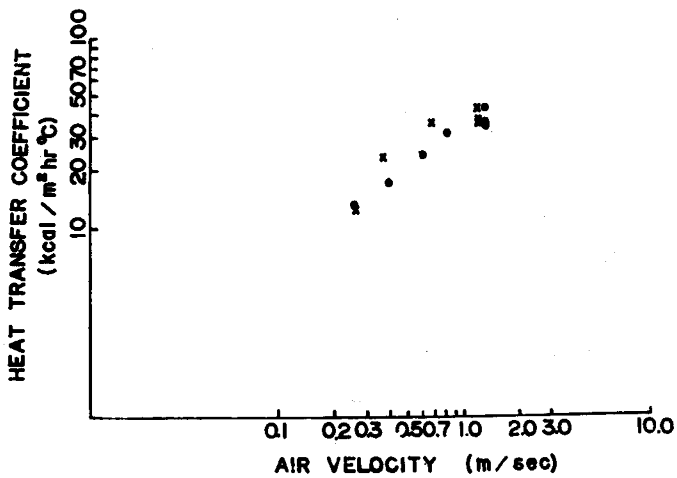

Fig. 4. Relation between air velocity and heat transfer coefficient.
○: parallel to wood surface.
×: perpendiculer to wood surface.

実験結果を風速と熱拡散係数との関係で表わすと Fig. 4 の如くなり，熱拡散係数を k, 風速を v とすると。風速 0.2～1.0 m/s の範囲では

$$k_{//} = 34\, v^{0.69}$$

$$k_{\perp} = 40\, v^{0.69}$$

となる。一般に水面からの蒸発の場合には $k_{\perp}$ の方が $k_{//}$ の二倍位であるとされているが[5]，固体面からの場合は試片の大きさ，風の平行度の等しい範囲の大きさ等により異なるので今回は風速が大きくなると熱拡散係数が大きくなるが，その関係は比例的でなく指数函数的であることを確かめたに止める。

又境界層の厚さは，風速が大きくなるに従い非常に小さくなり，風速 2 m/s では表面から 5 mm はなれると既に外気温となり[15]，これを裏書きしている。

4·1·2·3 熱 拡 散 率

4·3 木材乾燥実験を行なった恒温器中で，風速約 0.2 m/s の乾燥実験と同じ条件下で測定した熱拡散率は Table 3 の如くであった。

熱拡散率は静止状態の空気の場合，3～30 kcal/m²-hr-°C といわれ，運動状態の空気の場合は 10～500 kcal/m²-hr-°C といわれているが[5]，今回の如く風速は少ないが，空気が移

Table 3. Heat transfer coefficient on the wood surface.

Amount of Heat Flow	kcal/m²-hr	30.3	83.8
Temperature Difference between Wood and Air	°C	3.05	7.96
Heat Transfer Coefficient	kcal/m²-hr-°C	9.9	10.5

動している状態としては妥当なものと考えられる。

即ち使用した恒温器内で木材と空気の間に温度差がある場合には，この熱拡散率に温度差をかけただけ熱が移動するものと考えられる。

4·2　水分拡散係数を求める実験

4·2·1　水分拡散係数

実験装置で低湿側で蒸発が行なわれると，多湿側から低湿側に水分が移動し材中の水分減少は袴中の水で補充されるので，試片にとりつけた袴の水が減少し，全体の重量が減少する。一週間毎に全体の重量を 10^{-3} g まで測れる直示天秤で測定し，減少割合が一定になったときを，定常状態とみなし，袴からはずし，両面から厚さ約 2 mm の試料をそれぞれ 2 枚以上とり，その各の含水率を全乾法で求め，水分分布を求めた。又表面含水率は外挿法により求めた。

各試片における定常状態のときの水分拡散係数は Table 4 の如くであり，水分分布は Fig. 5 の如くである。

これ等の水分分布図から判断すると，水分分布がほぼ直線であり，この範囲では含水率の大小により水分拡散係数に差が認められないことになる。

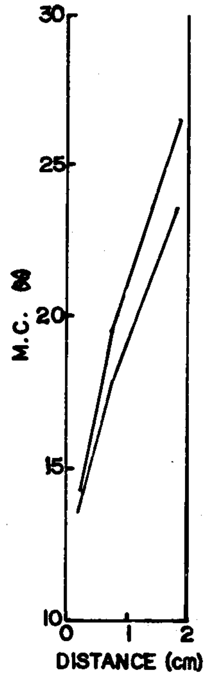

Fig. 5. Distribution of moisture in wood kept between two different humidity conditions.
E.M.C. in wet condition; 29.5%
E.M.C. in dry condition; 10.0%
Direction of water movement: Tangential. Beitsuga (*Tsuga heterophylla* SARG.)

Table 4. Diffusion-coefficient and surface-resistance.

Test-piece No.	1	2
Species	Beitsuga	Beitsuga
Direction of water movement	Tangential	Tangential
Specific gravity	0.42	0.42
Length of test-piece (cm)	2	2
Surface area (cm^2)	9.09	9.15
Rate of water movement ($\times 10^{-3}$ g/hr)	6.91	6.40
E.M.C. in dry condition (%)	9.8	9.8
M.C. of dry face (%)	13.8	12.0
M.C. of wet face (%)	28.5	27.0
E.M.C. in wet condition (%)	29.5	29.5
Diffusion-coefficient ($\times 10^{-3}$ g/cm-hr-°C)	0.103	0.093
Surface-resistance at dry face (cm)	0.54	0.29
Surface-resistance at wet face (cm)	0.14	0.20

求めた水分拡散係数値を，既応の実験値[16]と比較してみるとほぼ妥当な値を示しているが，クヌギ，ヒノキのそれぞれ繊維方向，接線方向の値については，後日報告する予定である。

4·2·2 表面抵抗

前記試験における高湿側および低湿側と同じ空気条件の場所に小試片を入れ，その平衡含水率を求めた結果は Table 4 の如くである。

前記拡散係数測定試験における両面の表面含水率と，ここに求めた外気の平衡含水率の間には，開きがあり，乾燥中木材表面が外気の平衡含水率と同一であれば，表面からは水分が出て行かないことを裏書きしている。材中の水分分布の直線を延長し，各平衡含水率と交わる点の表面からの距離を求めると，高湿側で約 2 mm，低湿側で約 3 mm となり，この距離に相当する厚さを，実際の材長に加えると，両面が平衡含水率に達しているという前提で拡散係数を求めることが出来る訳である。既応の実験[16]によれば樹種ヒノキで，直角方向の場合約 11 mm，木口面で 25 mm とされ，材の拡散係数により異なる。この厚さは抵抗分と考えられるので，表面抵抗と呼ばれている。この表面抵抗は熱における表面境界層の温度分布の如く，蒸発の際も表面境界層に水蒸気圧の分布が現われ，そこを通過するための抵抗と考えられる。又この境界層は，熱の場合と同様，風速により変化することは想像に難くないが，実測することが出来なかった。栗田，酒井によれば水蒸気圧の分布も，温度の分布と同じような曲線を示しており，熱も水分も空気を媒体としているので空気移動の影響は同じものと考られる。ただし熱の移動には，拡散の他に輻射によるものがあるが，水分の移動には拡散しかないので，輻射の占める割合の大小によって，木材表面と空気の，温度差と蒸気圧差の比は変って来るはずである。この比を全ての場合に求めることは不可能であるので，或る条件の許での乾燥の際の温度差と蒸気圧差との比を求めておけば，同じ条件下では温度差を測定すれば蒸気圧差を求めることが出来る訳である。

今回の実験のように定常状態で蒸発が行なわれる場合，蒸発量が同じであれば，木材表面の蒸気圧は同じであり，表面含水率は同じでなければならない。この際木材中の水分移動量と蒸発量は同じでなければ，表面の含水率が増減し，蒸発速度に影響を及ぼすはずである。水分移動量が同じで，水分拡散係数が異なる場合には，水分傾斜は水分拡散係数に逆比例しなければならないので，水分分布直線を延長し平衡含水率と交わる点の表面からの距離は水分傾斜に逆比例し，拡散係数に正比例しなければならない。故に表面抵抗は拡散係数に逆比例するはずで，今回の実験でも繊維方向の水分移動の場合は，表面抵抗が大きくなっている。

4·3 木材乾燥実験

恒温恒湿装置を使って行なった乾燥実験の結果は Table 5～15 の如くであり，図示し

たものが Fig. 6～16 である。この図から蒸発速度は初期に早く，末期に遅く最後に 0 となること，繊維方向の水分移動の場合には，恒率乾燥の時期が非常に長いが，恒率乾燥の速度は繊維に直角方向の場合と変らないこと，蒸発速度と木空温度差とがほぼ比例関係にあること等がうかがわれる。

4·3·1 蒸発速度と木空温度差の関係

各実験における木空温度差と蒸発速度の関係を図示すると Fig. 17～27 の如くであり，図上の各点は或る傾斜をなして直線的に並んでいることが判る。この傾斜は約 2×10^{-3} g/cm²-hr-°C で，今回の如き一定風速下で測定を行なえば比重の重いクヌギ，軽いヒノキ，水分通導の容易な繊維方向，困難な接線方向の何れの場合でも同じ傾斜を示している。この直線的関係にあることは木空温度差が一定であれば，外気から木材に入る熱量が一定であり，その結果蒸発する水分量が一定になることを示し，この傾斜が一定であることは，

Table 5. Wood drying process.
Species: Kunugi.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

Dryidg Time	Air Tempera-ture	Tempera-ture Difference between Wood and Air	Tempera-ture Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evapora-tion	Heat Trancefer Coeffi-cient	Mean Moisture Content	Rate of Evapora-tion
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	38.4	6.0	6.1	3.0	98.136			84.3	
5	41.5	3.0	3.9	1.5	92.434	6.43	12.29	73.5	4.29
10	41.0	3.0	3.7	1.5	87.042	5.86	11.21	63.4	3.91
15	41.0	2.0	3.7	1.0	82.186	5.38	15.44	54.3	5.38
20	40.6	1.7	3.6	0.9	78.541	4.35	14.68	47.5	4.83
25	41.0	1.7	3.7	0.9	75.352	3.88	13.10	41.4	4.31
30	41.0	1.7	3.8	0.9	72.390	3.42	11.63	35.9	3.83
35	41.0	1.5	3.8	0.8	69.884	2.72	10.39	31.2	3.40
40	41.0	1.3	3.7	0.7	68.062	2.24	9.89	27.8	3.20
45	41.0	1.3	3.7	0.7	66.240	1.85	8.17	24.4	2.64
50	41.0	0.6	3.7	0.3	65.091	1.45	13.87	22.2	4.83
55	41.5	0.6	3.8	0.3	63.961	1.09	10.43	20.1	3.63
60	41.0	0.4	3.8	0.2	63.278	0.81	11.55	18.8	4.05
65	41.0	0.1	3.7	0.1	62.595	0.44	25.00	17.5	4.40
70	40.6	0.1	3.7	0.1	62.595			17.5	

Table 6. Wood drying process.
Species : Kunugi.
Thickness : 1 cm.
Direction of water movement : Longitudinal.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	39.0	5.7	4.0	2.9	99.096			82.98	
5	40.6	2.9	3.3	1.5	94.601	5.55	10.99	74.68	2.27
10	40.0	2.4	3.2	1.2	90.374	5.10	12.20	66.88	4.25
15	40.0	2.1	3.2	1.1	86.591	4.40	12.03	59.89	4.19
20	40.0	1.8	3.2	0.9	83.476	3.81	12.15	54.14	4.23
25	40.6	1.8	3.3	0.9	80.806	3.52	10.63	49.21	3.91
30	40.6	1.6	3.4	0.8	78.136	3.11	11.16	44.28	3.89
35	40.6	1.6	3.4	0.8	75.911	2.83	10.15	40.17	3.54
40	40.6	1.4	3.4	0.7	73.686	2.52	10.33	36.06	3.60
45	40.0	1.4	3.3	0.7	71.906	2.27	9.31	32.77	3.24
50	41.2	1.0	3.5	0.5	70.126	2.12	12.17	29.49	4.24
55	41.2	1.0	3.5	0.5	68.567	1.84	10.56	26.61	3.68
60	40.6	0.7	3.5	0.4	67.234	1.53	12.54	24.15	4.37
65	40.6	0.7	3.4	0.4	66.121	0.99	8.11	22.09	2.83
70	40.0	0.5	3.4	0.3	65.671	0.71	8.16	21.26	2.84
75	41.5	0.2	3.6	0.1	65.900	0.70	20.10	20.04	7.00
80	40.6	0.2	3.6	0.1	64.564	0.57	16.35	19.22	5.70
85	40.6	0.2	3.6	0.1	64.119	0.43	12.35	18.40	4.30
90	40.6	0.2	3.5	0.1	63.896	0	0	17.99	—
95	40.0	0.2	3.5	0.1	63.896			17.99	

Table 7. Wood drying process.

Species: Kunugi.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

Drying Time	Air Tempera-ture	Tempera-ture Difference between Wood and Air	Tempera-ture Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evapora-tion	Heat Trancefer Coeffi-cient	Mean Moisture Content	Rate of Evapora-tion
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	38.4	5.4	4.8	2.7	97.863			82.03	
5	40.0	2.6	3.1	1.3	92.812	5.54	12.22	72.63	4.26
10	40.0	2.3	3.2	1.2	89.172	4.79	11.93	65.86	4.16
15	40.0	2.0	3.2	1.0	85.304	4.32	12.40	58.67	4.23
20	40.0	1.8	3.2	0.9	82.347	3.89	12.39	53.17	4.32
25	40.6	1.8	3.4	0.9	79.162	3.48	11.10	47.24	3.87
30	40.0	1.6	3.4	0.8	76.887	3.05	10.93	43.01	3.81
35	40.6	1.6	3.4	0.8	74.384	3.05	10.93	38.35	3.81
40	40.0	1.2	3.3	0.6	72.109	2.47	11.79	34.12	4.11
45	39.4	1.2	3.3	0.6	70.517	20.2	10.09	31.16	3.44
50	40.0	0.9	3.5	0.5	68.824	2.29	14.60	28.01	5.09
55	40.6	0.9	3.7	0.5	66.876	2.11	13.46	24.39	4.69
60	40.6	0.7	3.6	0.4	65.512	1.45	11.89	21.85	4.14
65	40.0	0.7	3.5	0.4	64.602	0.87	7.13	20.16	2.49
70	39.4	0.4	3.5	0.2	64.147	0.44	6.25	19.31	2.18
75	40.0	0.4	3.7	0.2	63.919	0.58	8.33	18.89	2.90
80	40.0	0.4	3.6	0.2	63.237	0.58	8.33	17.92	2.90
85	39.4	0.4	3.5	0.2	63.009	0.15	2.08	17.25	0.73
90	39.4	0.4	3.4	0.2	63.009	0	0	17.20	—
95	39.4	0.05	3.4	0.03	63.009			17.20	

Table 8. Wood drying process.

Species: Kunugi.

Thickness: 1 cm.

Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_v (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	37.4	5.2	4.6	2.6	91.605			68.94	
5	40.0	2.4	2.9	1.2	87.820	4.58	10.95	61.97	3.82
10	40.0	1.8	2.9	0.9	84.413	3.74	11.92	55.68	4.15
15	39.4	1.4	3.0	0.7	81.953	2.89	11.86	51.14	4.13
20	39.4	1.0	3.1	0.5	79.871	2.53	14.52	47.31	5.06
25	39.4	1.0	3.3	0.5	77.979	2.12	12.16	43.82	4.24
30	39.4	0.7	3.3	0.4	76.544	1.69	13.84	41.16	4.82
35	40.0	0.7	3.4	0.4	75.329	1.50	12.27	38.93	4.28
40	39.4	0.7	3.3	0.4	74.194	1.33	10.87	36.83	3.79
45	39.0	0.7	3.3	0.4	73.248	1.20	9.87	35.10	3.44
50	39.4	0.5	3.4	0.3	72.304	1.22	14.00	33.34	4.88
55	39.4	0.5	3.4	0.3	71.355	1.22	14.00	31.59	4.88
60	40.0	0.5	3.4	0.3	70.409	0.85	9.72	29.86	3.39
65	39.4	0.5	3.4	0.3	70.014	0.84	9.62	29.12	3.35
70	39.0	0.5	3.3	0.3	69.084	0.95	10.94	27.41	3.81
75	39.4	0.4	3.8	0.2	68.519	0.84	12.10	26.37	4.22
80	39.4	0.4	3.7	0.2	67.759	0.61	8.65	24.97	3.03
85	39.4	0.4	3.6	0.2	67.570	0.72	10.30	24.62	3.59
90	39.4	0.4	3.5	0.2	66.624	0.96	13.75	22.89	4.79
95	39.0	0.2	3.4	0.1	66.056			21.80	

Table 9. Wood drying process.

Species: Kunugi.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	40.0	6.3	5.5	3.4	99.438			81.77	
5	40.0	2.6	3.9	1.3	96.245	4.07	8.05	75.93	3.13
10	39.4	2.2	3.8	1.1	93.051	3.59	7.64	70.09	3.27
15	39.4	1.6	3.8	0.8	90.609	2.87	9.70	65.63	3.59
20	39.4	1.2	3.8	0.6	88.543	2.40	8.61	61.85	4.00
25	40.0	1.2	3.8	0.6	86.852	1.97	6.88	58.76	3.20
30	40.0	1.1	3.8	0.6	85.537	1.91	7.33	56.36	3.49
35	40.0	0.7	3.8	0.4	83.847	1.70	8.13	53.27	4.86
40	40.0	0.5	3.8	0.3	82.720	1.32	6.88	51.21	5.27
45	40.6	0.5	3.8	0.3	81.780	1.20	6.25	49.49	4.79
50	39.4	0.5	3.8	0.3	80.841			47.77	

Table 10. Wood drying process.

Species: Kunugi.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Differance between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	38.4	5.8	4.8	2.9	97.335			82.43	
5	39.5	2.9	3.7	1.5	92.237	6.11	12.03	72.87	4.21
10	39.5	2.5	3.7	1.8	87.839	5.08	11.66	64.63	4.06
15	39.5	1.9	3.7	1.0	84.336	3.87	11.69	58.07	4.07
20	39.5	1.9	3.6	1.0	81.820	2.96	8.94	53.35	3.12
25	39.5	1.5	3.7	0.8	79.736	2.54	9.72	49.44	3.39
30	39.5	1.1	3.8	0.6	77.884	2.38	12.42	45.97	4.29
35	39.5	1.1	3.7	0.6	76.032	2.23	11·64	42.50	4.02
40	39.5	0.8	3.7	0.4	74.712	1.79	12.84	39.47	4.48
45	39.9	0.8	3.7	0.4	73.254			37.30	

Table 11. Wood drying process.
Species: Hinoki.
Thickness: 0.5 cm.
Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	37.4	7.5	6.6	3.8	28.236			72.23	
5	40.6	2.0	3.8	1.0	23.637	4.21	12.08	44.18	4.21
10	40.2	0.9	3.8	0.5	21.472	1.92	12.24	30.97	4.27
15	40.2	0.7	3.7	0.4	20.480	0.96	7.87	24.92	2.74
20	40.2	0.4	3.7	0.2	19.894	0.43	6.18	21.35	2.15
25	40.2	0.4	3.7	0.2	19.760	0.13	1.88	20.53	0.65
28.5	40.6	0.4	3.8	0.2	19.668			19.95	

Table 12. Wood drying process.
Species: Hinoki.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	34.4	7.0	5.5	3.5	61.504			88.98	
5	39.5	2.6	3.7	1.3	56.998	4.92	10.87	75.13	3.79
10	39.0	2.1	3.7	1.1	53.406	4.10	11.20	64.10	3.90
15	39.0	1.8	3.8	0.9	50.263	3.14	10.12	54.44	3.49
20	38.4	1.4	3.8	0.7	48.243	2.05	8.40	48.23	2.93
25	39.0	1.1	4.0	0.6	46.896	2.05	10.69	44.09	3.73
30	40.2	0.8	3.9	0.4	44.875	2.05	14.70	37.88	5.12
35	39.5	0.6	3.8	0.3	43.528	1.64	15.63	33.74	5.45
40	39.0	0.6	3.8	0.3	42.183	1.09	10.47	29.61	3.65
45	38.4	0.4	3.8	0.2	41.732	0.68	9.68	28.23	3.38
50	39.0	0.4	3.8	0.2	41.059	0.82	11.78	26.16	4.11
55	39.5	0.2	3.9	0.1	40.385	0.68	19.31	24.09	6.75
60	39.5	0.2	3.9	0.1	39.936	0.55	15.07	22.71	5.47
65	39.0	0.0	3.9	0.0	39.487	0.27	—	21.33	—
70	38.4	0.0	3.8	0.0	39.487			21.33	

Table 13. Wood drying process.

Species: Hinoki.
Thickness: 2 cm.
Direction of water movement: Tangential.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	34.5	11.2	3.4	4.6	120.645			95.28	
5	39.5	1.9	2.8	1.0	117.527	4.01	12.11	90.24	4.22
10	39.0	1.8	2.8	0.9	113.967	3.87	12.34	84.47	4.30
15	39.5	1.8	2.9	0.9	111.075	3.34	10.65	79.79	3.71
20	39.0	1.5	2.8	0.8	108.405	2.67	10.22	75.47	3.56
25	39.5	1.2	2.9	0.6	106.625	2.27	10.86	72.59	3.78
30	40.2	0.9	2.9	0.6	104.622	2.19	13.96	69.35	4.87
35	39.5	0.9	2.9	0.5	102.976	1.60	10.20	66.68	4.87
40	40.2	0.9	3.0	0.5	101.952	1.82	11.60	65.03	3.56
45	39.0	0.8	3.0	0.4	99.950	1.87	13.40	61.79	4.04
50	39.0	0.7	3.0	0.4	98.837	1.47	12.05	59.98	4.20
55	39.5	0.6	3.1	0.3	97.502	1.60	16.30	57.82	5.33
60	40.2	0.8	3.1	0.4	96.167	1.60	12.25	55.66	4.00
65	39.5	0.7	3.1	0.4	94.832	1.47	12.05	53.50	4.20
70	39.5	0.7	3.2	0.4	93.720	1.20	9.84	51.70	3.43
75	39.5	0.7	3.2	0.4	92.830	1.34	10.98	50.26	3.83
80	39.5	0.6	3.3	0.3	91.495	1.47	14.00	48.09	4.90
85	40.2	0.5	3.4	0.3	90.382	1.20	13.78	46.29	4.80
90	40.2	0.7	3.5	0.4	89.492	1.25	10.26	44.85	3.57
95	38.4	0.7	3.5	0.4	88.291	1.34	10.99	42.90	3.82
100	40.2	0.7	3.5	0.4	87.267	1.42	11.64	41.24	4.05
105	39.5	0.7	3.5	0.4	85.932	1.47	12.05	39.08	4.20
110	39.5	0.8	3.6	0.4	84.820	0.94	6.75	37.28	2.35
115	39.5	0.5	3.6	0.3	84.375	1.16	13.32	36.56	4.64
120	39.5	0.7	3.6	0.4	82.906			34.18	

Table 14. Wood drying process.

Species: Hinoki.
Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Rate of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (hr)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	34.4	7.5	5.1	3.8	90.954			203.3	
5	39.4	3.0	3.8	1.5	85.939	6.09	11.85	186.5	4.13
10	39.0	2.9	3.7	1.5	80.934	6.22	12.53	169.9	4.36
15	39.0	2.9	3.7	1.5	75.701	6.09	12.26	152.4	4.27
20	39.0	2.8	3.7	1.4	70.924	5.95	12.20	136.5	4.25
25	39.4	2.8	3.7	1.4	65.919	5.53	11.34	119.8	3.95
30	40.2	2.8	3.7	1.4	61.824	5.53	11.34	106.1	3.95
35	40.2	2.8	3.9	1.4	56.819	5.81	11.91	89.4	4.15
40	40.2	2.8	3.9	1.4	52.269	4.98	10.21	74.3	3.56
45	39.4	2.7	3.8	1.4	48.629	4.70	9.99	62.1	3.48
50	40.2	2.3	3.9	1.3	44.534	4.56	11.38	48.5	3.97
55	40.2	2.0	3.9	1.0	41.121	3.60	10.33	37.1	3.60
60	40.2	1.6	4.0	0.8	38.619	2.62	9.39	28.8	3.28
65	40.2	0.9	4.0	0.5	36.799	1.53	9.76	22.6	3.40
70	39.4	0.4	4.0	0.2	36.116	0.69	9.90	20.4	1.45
75	39.4	0.2	3.9	0.1	35.661			18.9	

Table 15. Wood drying process.

Species: Hinoki.

Thickness: 2 cm.

Direction of water movement: Longitudinal.

Drying Time	Air Temperature	Temperature Difference between Wood and Air	Temperature Difference between Dry and Wet Bulb	Vapour Pressure Difference between Wood and Air	Weight of Test Piece	Raie of Evaporation	Heat Trancefer Coefficient	Mean Moisture Content	Rate of Evaporation
θ (ha)	t_a (℃)	t_a-t_W (℃)	t_a-t_w (℃)	P_W-P_a (mmHg)	W (g)	α (10^{-3} g/cm²-hr)	k (kcal/m²-hr-℃)	$\bar{U}$ (%)	A (10^{-3}g/cm²-hr-mmHg)
0	36.0	7.3	4.5	3.7	124.35			114.82	
5	39.5	3.1	3.3	1.6	119.55	6.70	12.40	106.53	4.19
10	39.5	3.1	3.3	1.6	113.45	7.64	14.15	95.99	4.78
15	39.5	3.1	3.2	1.6	107.12	7.22	13.37	85.06	4.51
20	38.5	2.9	3.1	1.5	101.69	6.50	12.86	75.69	4.33
25	39.0	2.9	3.2	1.5	96.04	6.80	13.49	65.93	4.53
30	40.0	2.9	3.3	1.5	90.62	6.87	13.59	56.56	4.58
35	39.5	2.9	3.2	1.5	84.87	5.42	10.72	46.63	3.61
40	39.0	2.8	3.2	1.4	81.81	3.97	8.14	41.33	2.84
45	38.5	2.4	3.1	1.2	78.42	4.36	10.42	35.47	3.63
50	39.0	1.9	3.3	1.0	75.70	3.95	12.24	30.79	3.95
55	40.0	1.6	3.4	0.8	72.99	2.16	7.76	26.10	2.70
60	39.5	1.4	3.3	0.7	71.18	1.81	7.41	22.98	2.59
65	39.5	0.8	3.3	0.4	70.05	0.96	15.53	21.03	2.60
70	38.0	0.6	3.2	0.3	69.60	0.42	4.00	20.24	1.40
75	39.0	0.5	3.3	0.3	69.38	0.55	6.34	19.86	1.83
80	39.5	0.3	3.4	0.2	68.70	0.55	10.57	18.68	2.75
85	39.0	0.3	3.4	0.2	68.47	0.19	3.67	18.29	0.95
90	38.5	0.3	3.3	0.2	68.25			17.90	

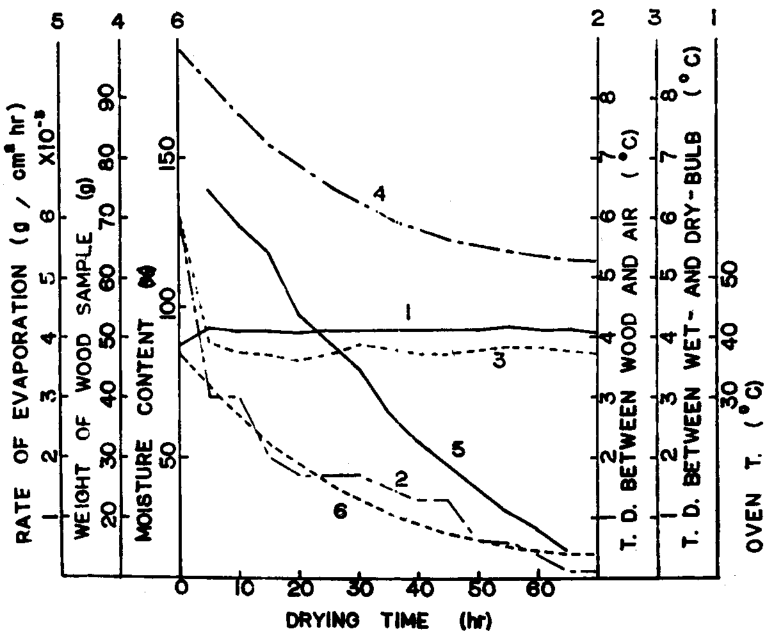

Fig. 6. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

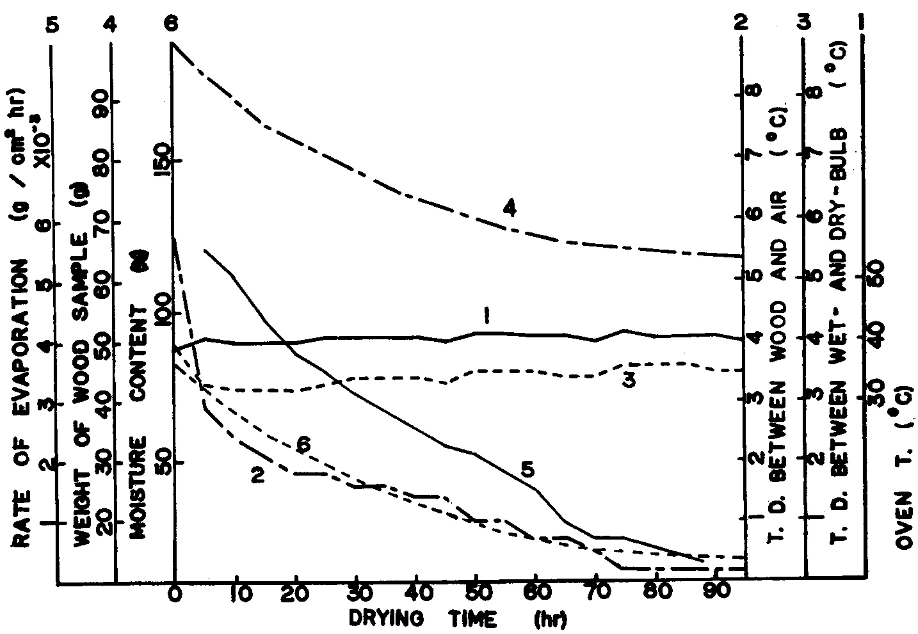

Fig. 7. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

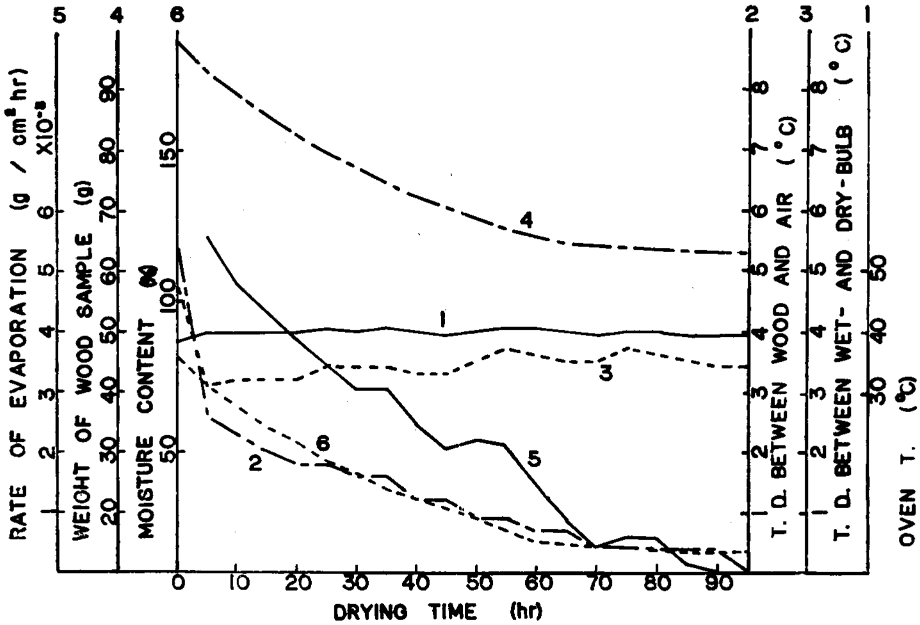

Fig. 8. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

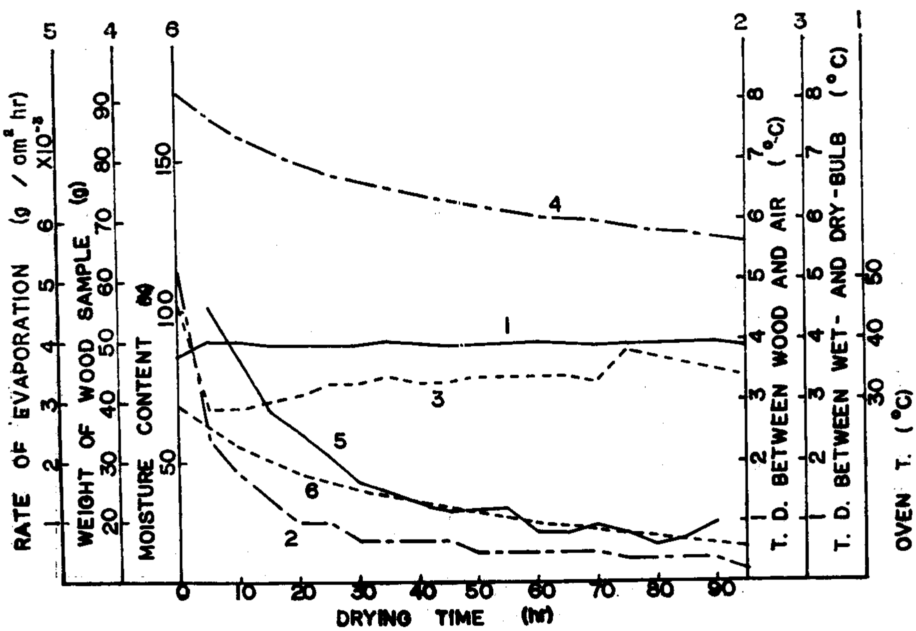

Fig. 9. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

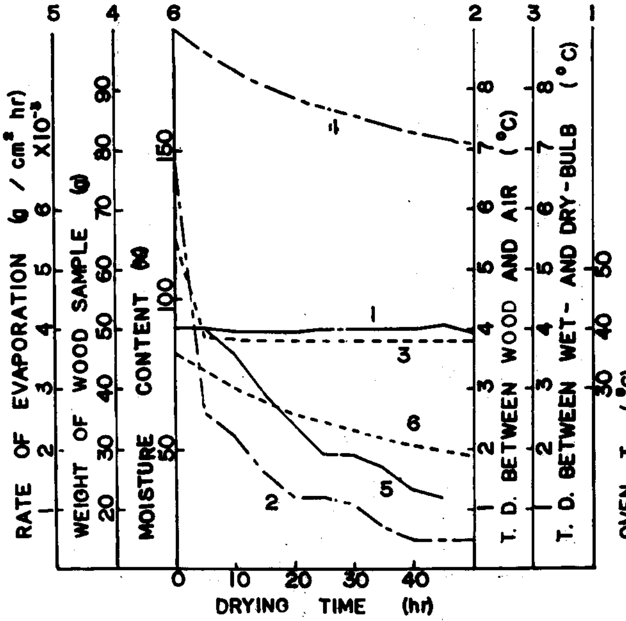

Fig. 10. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

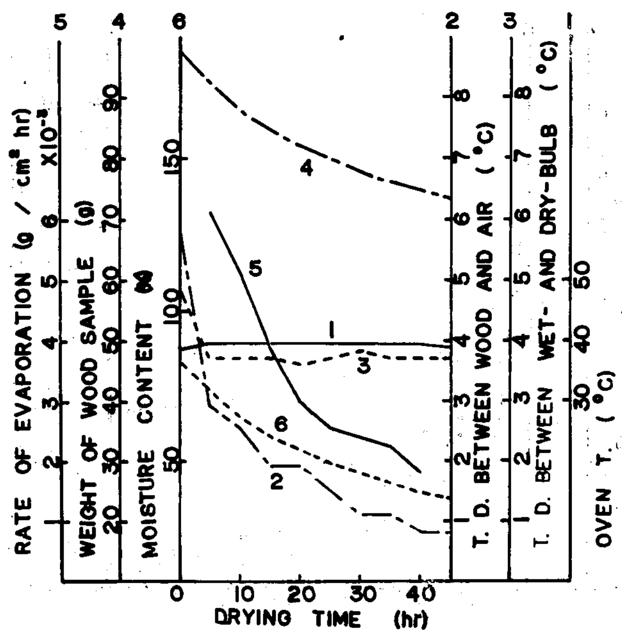

Fig. 11. Wood drying process.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of watermovement: Tangential.

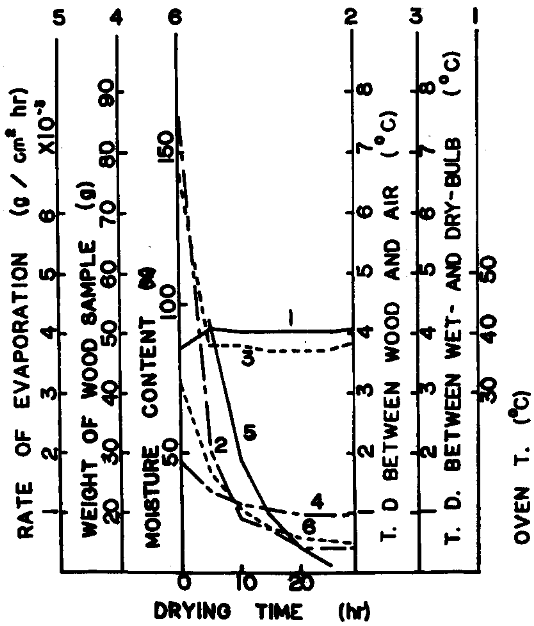

Fig. 12. Wood drying process.
Species: Hinoki. Thickness: 0.5 cm.
Direction of water movement: Tangential.

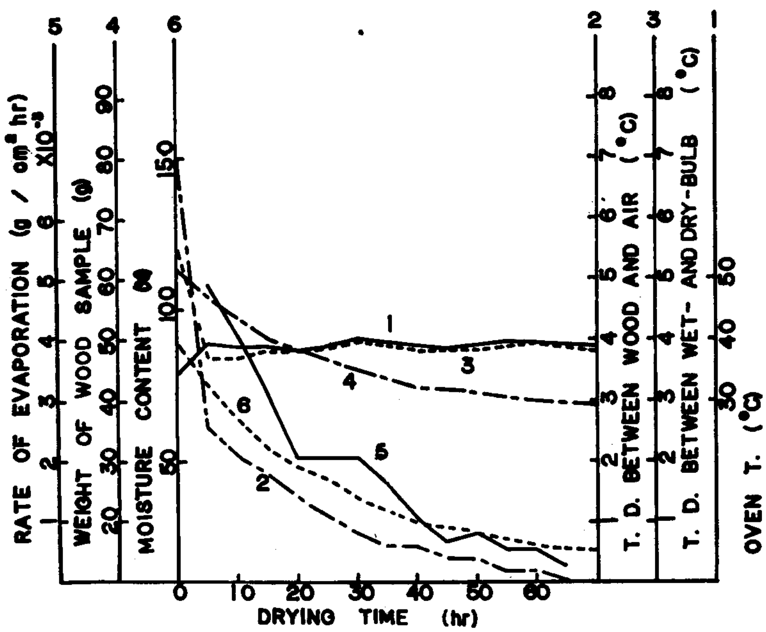

Fig. 13. Wood drying process.
Species: Hinoki. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

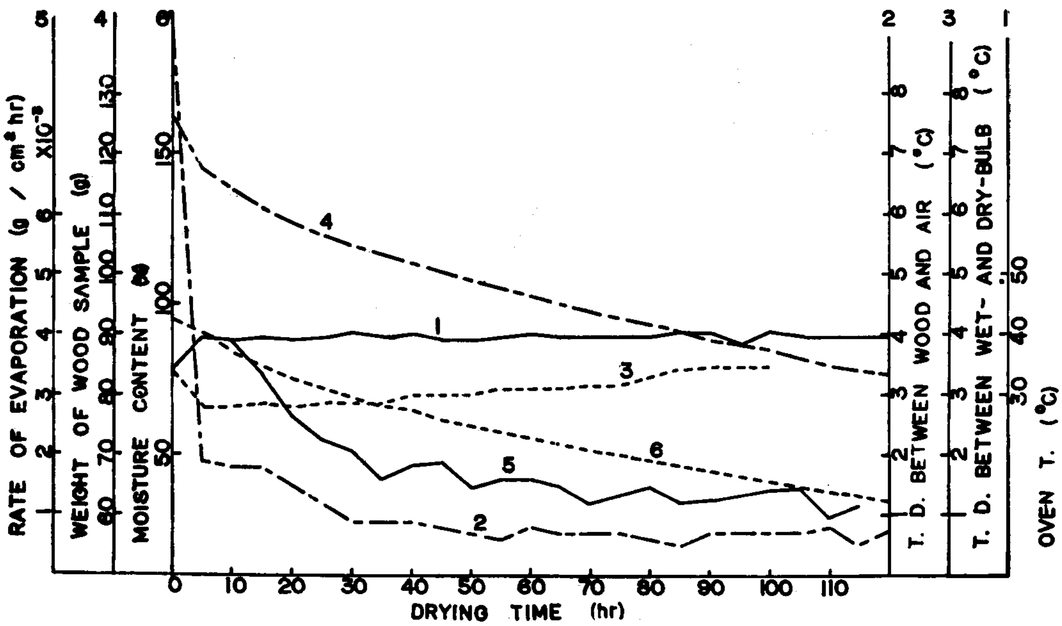

Fig. 14. Wood drying process.

Species: Hinoki.
Thickness: 2 cm.
Direction of water movement: Tangential.

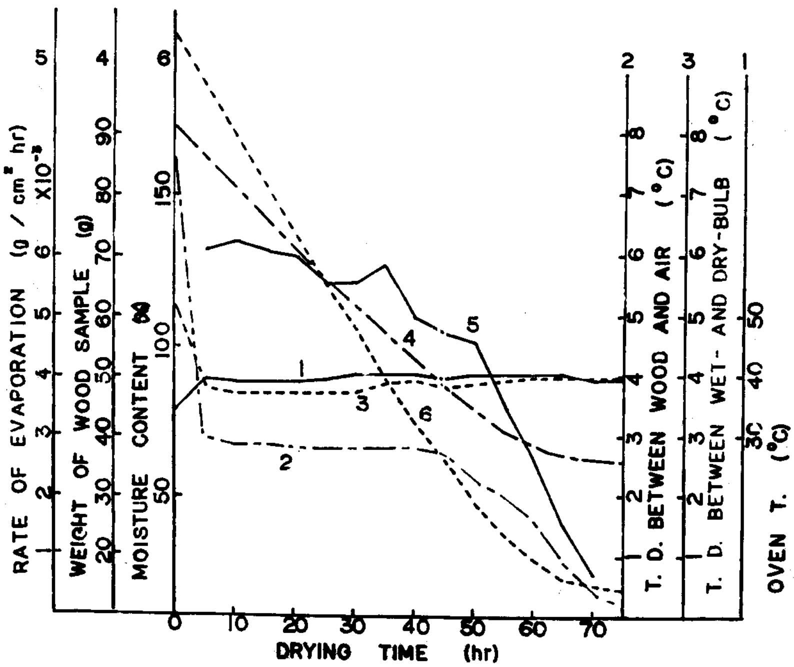

Fig. 15. Wood drying process.
Species: Hinoki. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

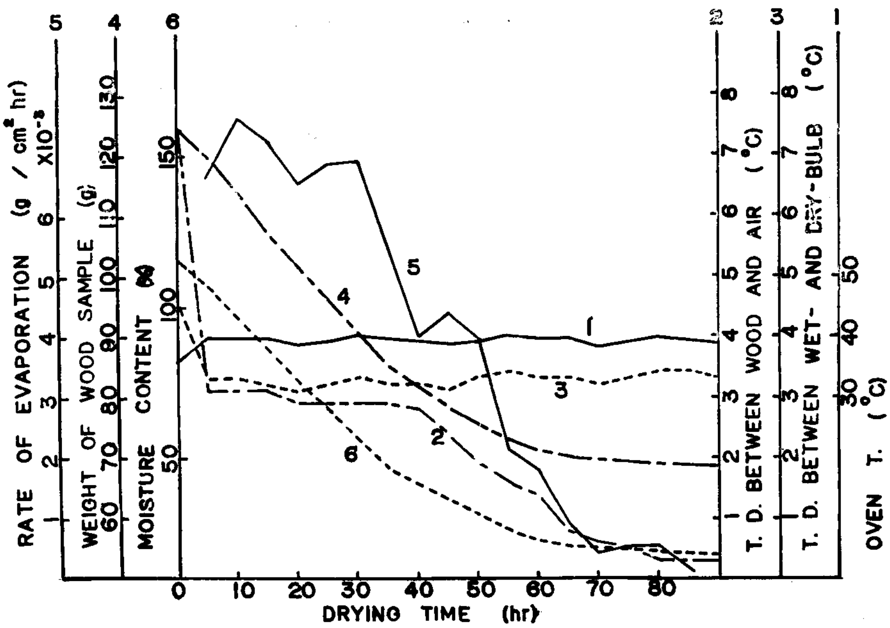

Fig. 16. Wood drying process.
Species: Hinoki. Thickness: 2 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

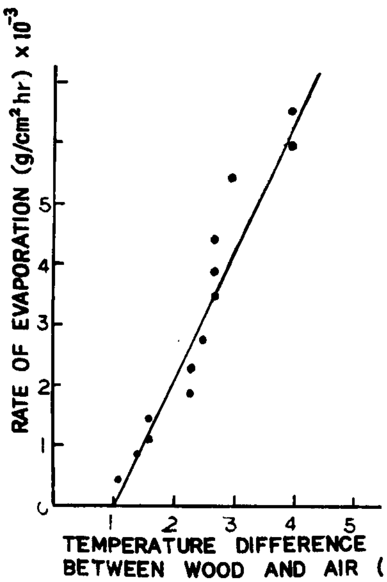

Fig. 17. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

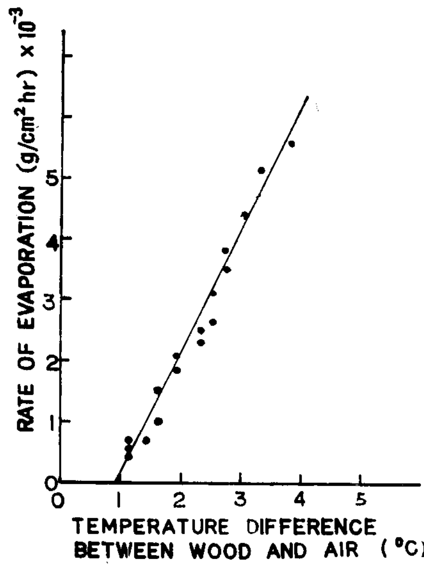

Fig. 18. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

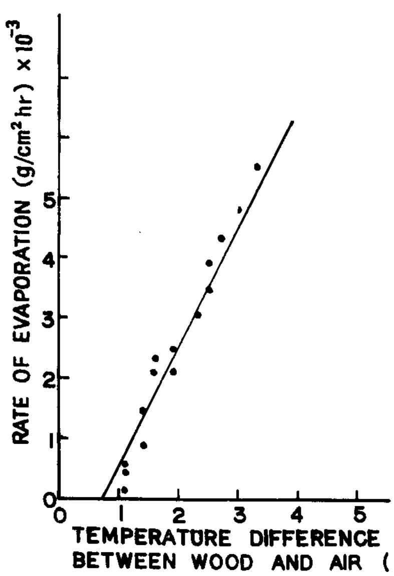

Fig. 19. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

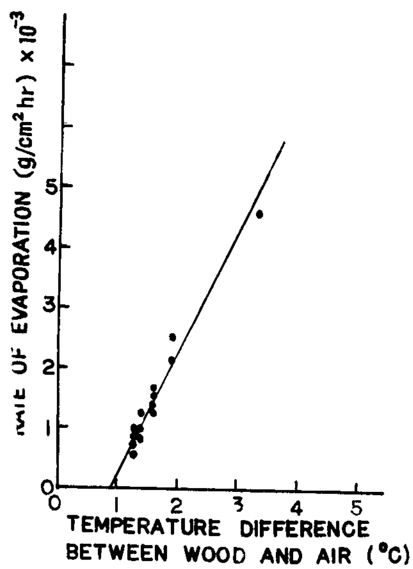

Fig. 20. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

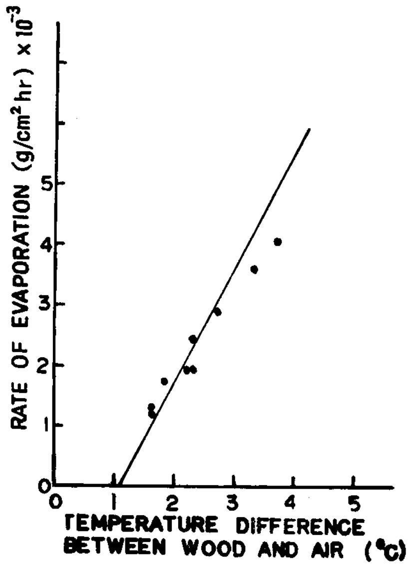

Fig. 21. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

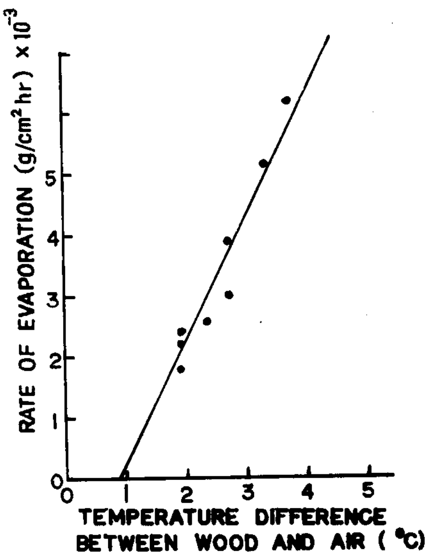

Fig. 22. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Kunugi. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

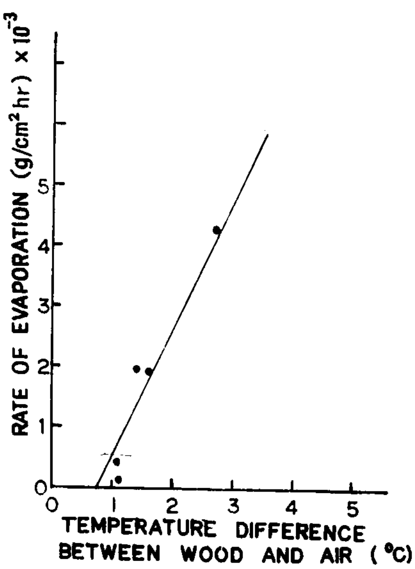

Fig. 23. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Hinoki. Thickness: 0.5 cm.
Direction of water movement: Tangential.

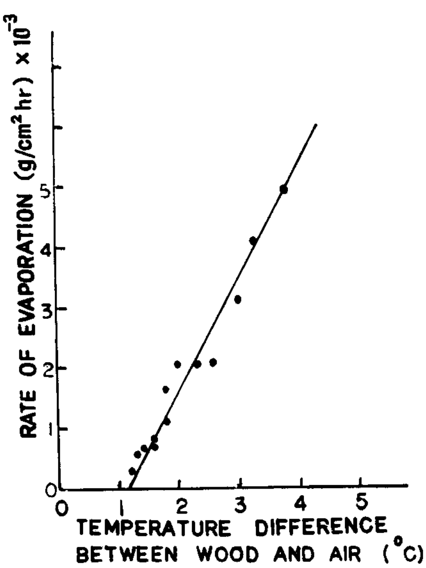

Fig. 24. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Hinoki. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Tangential.

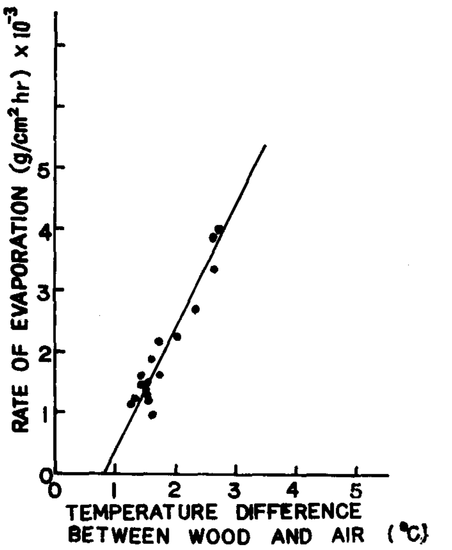

Fig. 25. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Hinoki. Thickness: 2 cm.
Direction of water movement: Tangential.

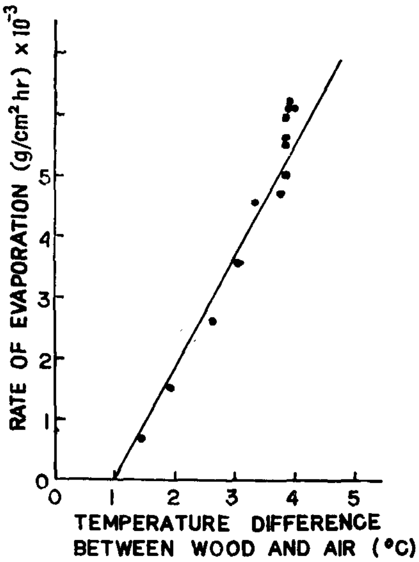

Fig. 26. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Hinoki. Thickness: 1 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

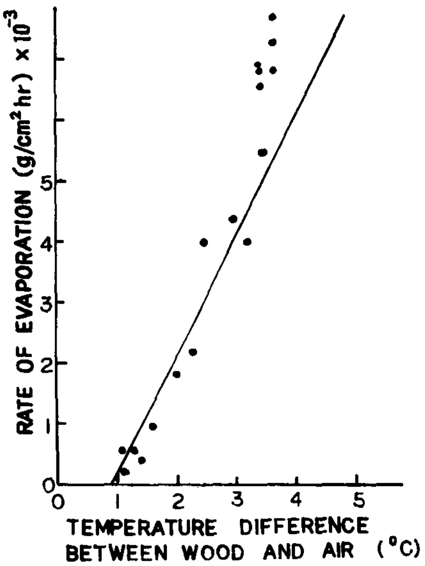

Fig. 27. Relationship of evaporation rate to temperature difference between wood and air.
Species: Hinoki. Thickness: 2 cm.
Direction of water movement: Longitudinal.

同一風速下では温度差が同じであれば，樹種，繊維方向のいかんにかかわらず一定の蒸発速度を示すことを裏書きしている。

但し蒸発速度が0になっても，外気と木材の間に温度差が約0.7～1.0°C残っていることは，乾燥時間をどれだけ伸ばしてもまだ残っているので室内の温度むらによる一定誤差であるか，輻射による影響であるように考えられる。しかし，この点は更に追及する必要があるので，ここでは推定に止めておく。

以上の測定値から，外気と木材表面の間に1°Cの温度差があるとき，1 cm^2 当たり，1 hr に 2×10^{-3} g 水分が蒸発することになるが，蒸発には潜熱がいるので 2×10^{-3} g/cm^2-hr 水分が蒸発するためには，574 cal/g $\times 2\times10^{-3}$ g/cm^2-hr-°C＝11.4 kcal/m^2-hr-°C となる。先に求めた熱伝達係数 10 kcal/m^2-hr-°C に比べると，入って来る熱量より，出て行く熱量の方が多くなってしまったが，これは試験片の大きさの相違によるものと考えられる。したがって木材が乾燥するにつれて材温が上昇するのに使われる熱量も，又水分が繊維から離れる時に必要な分離熱も，蒸発に必要な潜熱に比べると無視してもよい位であることを示している。

例をとって計算してみると，Table. 5 の場合に，30時間目と35時間目の間で，5時間当たり水分蒸発量は2.5 g で，蒸発に要した熱量は1,400 cal となる。又温度上昇に要した熱量は，木材53 g，水分19 g を5時間当たり0.2°C上昇させた訳で，7 cal に過ぎず，問題にならない。一方木材からの分離の熱量は[12]，表面含水率を20%とすれば，約20 cal/g，12%としても約50 cal/g に過ぎず，潜熱の574 cal/g に比すれば，10%以下であり，乾燥の盛んなときには，数%以下と考えられる。

結局空気と木材の温度差を測ることにより，その時々の蒸発量を推定することが出来，温度差が変化しなくなった時には乾燥が終了したことを知ることが出来る訳である。

5. 結　　語

以上の実験は未だ不完全なもので，更に一層の資料を追加し，精度の向上をはからなければならないが。木空温度差と蒸発量との間には比例関係があるので，乾燥速度，含水率減少経過を判断する上に，便利で，重要な手がかりとなるであろう。

尚，表面蒸発抵抗，表面含水率の減少経過，拡散係数の含水率による変化及び定常法と非定常法とより求めた拡散係数の比較等は現在実験中で，後日乾燥全般にわたる検討を行ないたいと考えている。

引　用　文　献

1) A.S.T.M.: A.S.T.M. Standard. Part. 14, 1966.
2) BIGGERSTAFF, T.: Drying diffusion coefficients in wood. F.P.J. Vol. 15, No. 3, 1965.

3) CHOONG, E. T.: Diffusion coefficient of softwoods by steadystate and theoretical methods. F.P.J. Vol. 15, No. 1, 1965.
4) 原 朝茂: 伝熱理論入門. 大雅堂, 1948.
5) 亀井三郎: 空気の調湿及び乾燥. 共立出版, 1948.
6) 木谷要一: 湿度測定法. 共立出版, 1948.
7) 栗田邦夫・酒井 清: 湿度の分布. 科学, Vol. 25, No. 7, 1955.
8) LYMAN, L. S.: Effect of air flow on heat trancefer and water evapolation in jet-drying system. F.P.J. Vol. 15, No. 10, 1965.
9) 満久崇麿: Studies on the drying of wood. 木材研究, No. 13, 1954.
10) 宮部 宏: 材料の湿気的性能. 早稲田大学理工学研究報告, No. 1, 1944.
11) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究 II. 水分伝導度と拡散係数について. 林業試験場研究報告, No. 45, 1950.
12) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究 III. 木材水分の蒸発速度について. 林業試験場研究報告, No. 51, 1951.
13) 小倉武夫: 水分伝導度と比重の関係について. 日本林学会誌. Vol. 33, No. 12, 1951.
14) 小倉武夫: 木材の乾燥機構に関する研究 V. 木材水分の拡散係数と含水率の関係. 林業試験場研究報告, No. 54, 1952.
15) 小倉武夫・大沼加茂也: 恒率乾燥における蒸発速度の実験式. 木材学会誌, Vol. 1, No. 1, 1953.
16) 小倉武夫・梅原 誠: 木材の水分拡散係数の温度, 木取り, 厚さによる影響. 木材学会誌, Vol. 3, No. 2, 1957.
17) 押田勇雄: 蒸発・乾燥. 河出書房, 1950.
18) SERGOVSKII, P. S.: Wood temperature during kiln drying and importance of the temperature gradient in the wood for process calculation. Wood Processing and Chemical Industry. (U.S.S.R.) Vol. 2 (3), 1953.

Résumé

The drying process of the wood were observed in the forced-convection kiln at 40°C, 75% R.H.. The water movements in longitudinal or tangential direction of test pieces (1 cm in thickness and 10 cm in diameter) were measured with Kunugi (*Quercus acutissima* CARR.) and Hinoki (*Chamaecyparis obtusa* ENDL.) as materials in this study.

The sides of circumference of the test pieces were coated with vinyl tape to assume unidirectional diffusions of heat and vapour in perpendicular direction to the circular surfaces. The temperature difference between wood (1 mm inside the surface of the wood) and air (10 cm off the surface) was measured by the thermocuples, and the evaporation rate was measured by the spring balance and was put on record by use of differential transformer.

The experimental results may be summerized as follows.

The rate of evaporation was in proportion to the temperature difference between wood and air (its coefficient was 2×10^{-3} g/cm^2-hr-°C at 40°C, 75% R.H.). (See Fig. 17~27). If we dry the timbers under the same condition, the change of the evaporation rate and the moisture contents in the process may be calculated from the change of the temperature difference between wood and air.