



北海道林業試験場時報

第 36 號

木材の人工乾燥に就て

(理論・ブナ材・ナラ材)



北海道林業試験場

北海道・江別町野幌

昭和16年11月

序

本場に於ける試験成績は北海道林業試験場報告として之を發表し居るも、右試験中比較的簡易なるもの、或は急速に其の成績を發表する必要あるもの、其の他試験經過の一部なるも應用性ありと認むるもの等を本時報に掲ぐるものとす。

昭和16年11月10日

北海道林業試験場長

技 師 服 部 正 相

目 次

I 緒 言	1
II 木材乾燥の理論の概要	2
A 木材乾燥機構	2
B 人工乾燥に於ける乾燥因子	10
C 乾燥條件に關係を及す木材の性質	13
D 乾燥機構並に因子の運用	16
III 試験方法	20
A 供 試 材	20
B 乾燥試験装置	20
C 試験操作	22
III 試験結果	25
A プナ材の部	25
1. 乾燥基準に就いて	25
a. 厚さ 25 mm 板	25
b. 厚さ 60 mm 板	33
2. 厚さに關する影響に就いて	43
3. 人工乾燥に於て生じ易き缺點及 操作上の注意に就いて	45
4. 摘 要	47
B ナラ材の部	48
1. ナラ生材の Steaming に對する性質に就いて	48
2. 木材内部の水分移動に就いて	52
3. 厚さ 60mm 板の生材よりの乾燥基準に就いて	54
4. 厚さ 25mm 板の乾燥に就いて	65
5. ナラ生材乾燥に於て生じ易き缺點及 操作上の注意に就いて	65

木材の人工乾燥に就て

技 手 小 倉 武 夫

I 緒 言

我國に於ける木材乾燥も今や相當の歴史を有し、隨所に於て事業的に立派な製品を作成し既に研究の域を脱して企業的に完成されたる如く思料せられてゐるが、從來斯業の先進國の指導を受けた範圍を出てず、我國に於ける木材乾燥の理論的研究の業績極めて少きが故に、乾燥に對する理論を十分に辨へずに企業化されてゐるが如き憾みがあり、經驗による知識以外の進歩の跡殆んど見られない状態であると思料せられるのである。之れ即ち理論を明究にせず唯發表された基準表に因り實施されてゐるからであらう。

木材の乾燥に當つては含有水分の多き間は溫度上昇に因る内部壓力の増加等に因て内部水分を移動し得ると雖も、殆んど凡ての乾燥經過に於ては表面蒸發により水分傾斜を生ぜしめ、内部水分を擴散せしめて乾燥を進行せしめるのであるが、一般に表面蒸發量に比して内部擴散量が少い爲に、水分の連繫を斷つて損傷を生ぜしめない様に常に表面蒸發を抑制して内部擴散量を決して凌駕せぬ様にするを要する、之が爲には溫度、關係濕度を適當に調節すべきものであつて、之れ即ち人工乾燥に於ける根本的原則である。木材乾燥の因子である溫度、關係濕度（空氣速度）等は外殼部の含水率を基準と

して樹種に應じて決定すべきものであるが、外殻部の含水率は假令平均含水率が同一であつても厚さに因つて異なるものであつて、内部擴散量を適當にすべき表面蒸發量も亦厚さに因つて異にしなければならぬから乾燥條件は厚さに因つても樹種に於けると同様異にしなければならない。樹種、厚さを決定すれば直ちにそのスケジュール、豫定乾燥日數等が決定される圖表の様なものが作製せられたならば人工乾燥實行者に對して貢獻する處大なるものがあると思料されるのである。

本場に於ては人工乾燥に關する理論を究め、各主要樹種に對して最も適切な基準表を作製すべく實施中の處、ブナ、ナラ（生材より含水率20%程度迄）に就き一先づ取纏め、木材乾燥の理論と共に、斯業上の參考にもなればと茲に發表しようとするものである。

乾燥資材に關し勞を煩はした函館營林區署、旭川營林區署官行研伐實行員各位に對し茲に深甚の謝意を表する。

II 木材乾燥の理論の概要

(A) 木材乾燥の機構

木材の乾燥に於ては含有水分は必らずその表面に於て蒸發され、之れに伴ひ内部の水分が何かのメカニズムに因て表面に移動し、表面に於て蒸發されて木材の乾燥が行はれるのであるから人工乾燥の機構は表面に於ける蒸發と内部水分の移動即ち擴散とに大別する事が出来る。而して木材乾燥に於ては内部に於ける擴散が、表面に於ける蒸發より速かである⁽¹⁶⁾と云ふ事は殆んど無く、多くの場合表面の蒸發は擴散による水分量を凌駕してゐる。

以下表面蒸發及内部擴散を生ぜしめる要素に就き説明する。

1. 表面蒸發

容器に入れた水分は大氣壓に於て通常蒸發し、その蒸氣壓が飽和

に達する迄（此の時の蒸氣壓が最大蒸氣壓）繼續し、遂に平衡狀態を保つに至つて蒸發を停止するのである。而して最大蒸氣壓は溫度に對して（第1圖の如く）一定の關係を有して溫度と共に著しく上昇するもので或溫度に對して一旦平衡狀態に到達してゐても溫度が上昇すればその容積が膨張し、水蒸氣を含み得る量が増加し不飽和狀態になる爲、再び飽和狀態に到達して平衡狀態に達せんが爲に蒸發作用が開始されるのである。即ち蒸發は溫度の上昇と共に著しく盛になるのである。

而して水分の蒸發は、或る溫度に對してはその蒸氣壓が飽和狀態に達する迄繼續されるのであるから、蒸發はその時の溫度に對する蒸氣壓の最大蒸氣壓に對する割合即ち關係溫度が低い程著しく行はれる。且最大蒸氣壓はその時の飽和狀態に達した水蒸氣の重量であり、溫度と共に著しく増加するので、關係溫度が假令同一であつても、溫度が高い程、飽和に對する不足量も著しく増加するものであるから（第2圖參照）、水蒸氣を含み得る量も亦多いのである。

尙之等溫度及關係溫度の外に蒸發は空氣の速度に因つて影響されるものであつて、一般に水分の蒸發速度 V は、溫度を $t^{\circ}\text{C}$ 、 $t^{\circ}\text{C}$ に對するその時の水蒸氣張力を c 、最大張力を E 空氣の膨張係數を α 、風速を W とすれば

$$V = c (1 + \alpha t) (E - c) \sqrt{W} \quad (17)$$

なる方程式にて表はされ、空氣の速度が速になる程、蒸發も促進されるのである。

之等蒸發に關係ある因子が、木材乾燥にも同様の關係を有するのであつて、之等に就いては後述する。

木材中に含有されてゐる水分は通常自由水（游離水）と結合水（吸收水）とに分類され、前者は木材組織内の孔隙中に游離狀に含有されてゐる水分であり、後者は細胞膜に吸收され、結合されて

ある水分である。木材の乾燥に於ては自由水は勿論の事、乾燥の目的とする収縮、膨張をなす結合水の除去を行はなければならない。自由水は細胞腔内に游離する水分であるから、之を除去する事は比較的安易であつて恰も容器の中の水の如く殆んど恒率的乾燥が行はれるが、結合水は細胞膜中に吸収された水分であつて細胞膜と水分とに引力が作用してゐるものであるから（之の引力を粘着力又は結合力と假稱す）、結合水分を除去するには之の粘着力に打勝つ爲の相當のエネルギーを必要とするものである。Mell⁽¹⁹⁾氏によれば木材に對する水分の結合力に打勝つには木材 1kg に對して約 20kcal., 1kg の水分に對しては 80kcal. を要し、殆んど絶乾になれる木材の水分を除去するには纖維飽和點以上の場合の約 5 倍を必要とする。之等は水分結合力が含水量の減少に應じて増加する事及木材が減率乾燥をする事の理論と適合するものである。結合水の蒸發はその水分の蒸發力が結合水と木材纖維との間の結合力に打勝つ間は可能なのであるが、之等二つの力が平衡に到達すれば蒸發は停止されるのである。結合水の蒸發力は外氣の蒸氣壓と木材結合水の蒸氣壓との差に因つて生ずるもので、水分が減少する程、即ち結合水が蒸發する程、蒸氣壓が減少し、外氣の蒸氣壓が同一なれば、その蒸發力は減少するのである。亦結合力は水分と木材纖維との間の一種の引力があるから、水分が減少する程之の引力は益々大となつて、遂に蒸發力と平衡するに至り、蒸發の現象を停止されるのである。従つて木材の水分は自由水の様な水分を蒸發し盡すと云ふ事なく結合力の爲に多少の水分を有したまゝ蒸發は停止されるのである。斯くの如く外氣の條件に對して平衡を保つ含水率を平衡含水率と稱し、木材中の水分は之の含水率に到達せんと乾燥されるのである。而して之の平衡含水率は溫度、關係濕度に對して一定のものであつて各樹種に因て大差なしと雖も差異あるものであらう。一旦斯くの如く平衡状態に

到達した結合水は更に結合力に打勝つ可きエネルギーを供給せざれば除去する事は出来ない。即ち溫度を上昇せしめて結合水の運動を安易ならしめると共に、溫度の上昇、濕度の低下等に因り外氣の蒸發力を増加せしめて結合力に對して蒸發力を大にし、平衡状態を打破つて再び乾燥せしめるのである。

以上の如く表面蒸發は含水量に影響され、纖維飽和點以上に於ては殆んど恒率乾燥の経過を辿るも、含水率がそれ以下に低下すれば結合力が増加されて減率乾燥を示すに至り、遂に平衡状態に到達するものである。

木材より蒸發された水分量は次式に因つて計算され得る。

$$qv = \frac{100 \pi_r V (u_1 - u_2)}{F \cdot Z} \quad (1)$$

但し	qv	蒸發水分量
	π_r	比 重
	V	材 積
	u_1, u_2	含 水 率
	F	表 面 積 m^2
	Z	乾燥時間 (h)

要する表面蒸發は樹種に因つて制限はあるが、溫度高く、關係濕度低く且空氣の速度大なる程益々促進されるもので、一般に乾燥経過を通じて乾燥條件の調節に因り終始繼續される機構である。

2. 木材内部水分の擴散

木材の乾燥は表面に於ける水分の蒸發ばかりでなく、内部の水分を除去する事が必要があるが、内部の水分の移動は蒸氣壓による差異か又は内部壓力の増加によるの外なく、前者は即ち水分の傾斜により、後者は溫度の上昇により生ずるものである。之等何れかに因つて内部の水分は擴散されて除去されるのであるが、擴散を生ぜしめる要素は

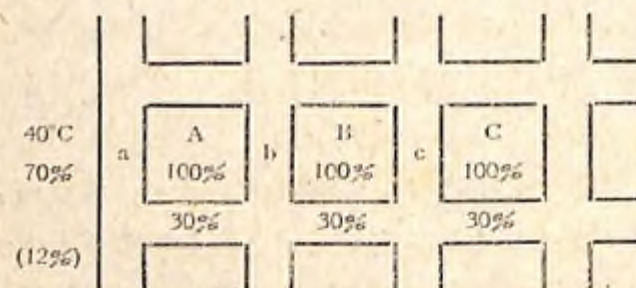
- a) 表面蒸發による内部水分の擴散
- b) 内部壓力の増加による水分移動
- c) 水分結合力の低下による水分移動の促進

の三種と見做す事が出来、之等に就き記述する。

a) 表面蒸發による内部水分の擴散

木材表面の水分はその蒸氣壓が外氣の蒸氣壓と相異なる場合は木材は蒸發力と結合力とが平衡に到達する迄水分を蒸發又は吸収して所謂平衡含水率に達する事は前述の如くである。而して表面に於ける含水量が内部の含水量に比して減少すれば内部に於ける水分の蒸氣壓が外部のそれよりも大となり、茲に蒸氣壓の相違により内部の水分は外部に移動せんとするものものである。即ち表面蒸發に因り表面の水分が減少して次層との間に含水量に差を生じ蒸氣壓或は水分傾斜に差異を生じて水分を表面に移動せしめるのである。

例へば今假り第3圖の如き細胞の連りを假定して温度40°C、關係



第3圖 蒸氣壓の差異による水分の移動圖

濕度70% (之の時の平衡含水率約12%) 中にて含水率30% (纖維飽和點以上) の材を乾燥するに表面の細胞膜 a は外氣の蒸氣壓の方少なるため、急速に蒸發を開始し、a は平衡含水率12%に到達しやうとする。而して細胞膜 a の乾燥の進捗につれて a は細胞腔 A より水蒸氣を吸収して更に外氣へ蒸發しやうとする。従つて細胞腔 A の水蒸氣壓は低下し、關係濕度が低下する爲に次層の細胞膜 b の水分が A へ蒸發され、同様のメカニズムに因つて C に移行するのである。斯

くて表面 a の蒸發に伴つて水蒸氣壓に差を生じて内部の水分を移動せしめるのである。

纖維飽和點以下の結合水の移動に關しては液相の移動、及氣相と液相の交互による移動等未だ正確な水分の移動狀態不明なため、適確な説明は出来ないが、表面の水分が蒸發すれば含水量即ち水分の分布に傾斜を生じ、(之の分布狀態は一般に拋物線的曲線と見做されてゐる。)之の傾斜の爲に水分が移動するものであらう。之等何れにしても木材乾燥に於ける表面蒸發による水分の移動は、乾燥の最後迄繼續されるもので天然乾燥は之れのみによるのである。

b) 内部壓力の増加による水分の移動

木材内部に於ては細胞膜及細胞孔隙間に結合水及自由水の外に空氣及水蒸氣が含有されてゐるが、一般に溫度が上昇すれば空氣は膨張し、水蒸氣壓力は自由水の存在する限り最大蒸氣壓に達する爲に増加するものである。木材内部の溫度が上昇すれば木材中の空氣は膨張し、その係數は定壓膨張係數にて 0.003671、定積膨張係數は 0.003665 とせられ、木材の熱膨張係數は纖維の方向に因つて異なるが、纖維に平行の方向にては $1 \sim 5 \times 10^{-6}$ 、纖維に直角の方向にては $1.5 \sim 3.4 \times 10^{-5}$ で體積膨張係數は大體 5×10^{-5} 内外と見做されるが故に、空氣の方が著しく膨張せんとする。此の場合に於て木材の細胞孔隙間の空氣は體積膨張に因つて膨張せんとするも、小さな無數の細胞の小孔隙内に於ては安易に移動し得ないものと見做されるか故に定積膨張をなすものと見做され、従つて茲に内部壓力を生ぜしめるのである。之れと相伴ひ内部の水蒸氣壓も亦溫度上昇と共に著しく増加して之等と共に内部壓力を生ぜしめるものである。例へば溫度 20°C の材を 99°C の飽和蒸氣中にて溫度を上昇せしめ木材内部溫度を 95°C に到達したる時の木材内部の水蒸氣及空氣の分壓は第1表の如く木材内部の壓力は容器の壓力の約 2 倍を示すに至り、内部

第1表 容器内 99°C の飽和状態、木材内部 95°C に達した時の空気及水蒸氣の分壓

分	壓	容器中 99°C, 100% (mm)	木材内部 95°C (mm)	比
空	氣	26.84	246.65	
水	蒸 氣	733.16	633.66	
合	計	760.00	1,583.32	2.08

の水分を外部に壓出するが如きである。従つて温度上昇に因つて之の内部壓力の増加による水分の移動量も變化するのである。松本氏の實驗結果に因れば第4圖の如くである。而して之の内部壓力は温度の上昇に關係するのみならず含水率にも關係するものである。纖維飽和點以上に於ては常に木材の孔隙は水蒸氣にて充滿されてゐるから温度上昇による内部壓力は略一定なりと見做されるが、纖維飽和點以下に於ては、その木材孔隙が水蒸氣で充滿されず水蒸氣の壓力が減少するものなるを以て、内部壓力は含水率の減少と共に減少し、水分の移動も減少すべきものである。各種含水率の材を内部壓力に因りて壓出せしめたるに、その含水率と減少せる含水率との關係は第5圖の如く含水率60%程度にて最早之の壓力による効果無き事を認められた。

之の内部壓力の増加による水分の移動は、温度を上昇せしめる事に因つて、乾燥當初特に含水率の多い場合に於て、生ぜしめる事が出来るのである。従つて生材等の乾燥に當つては特に之の機構を利用すべきものである。

c) 水分結合力の低下による水分移動の促進

本項は水分の擴散を生ぜしめる因子ではないが、之に因つて移動を促進せしめるものである。既に述べたる如く纖維飽和點以下に於ける結合水を移動せしめるには相當のエネルギーを要する。之れ水

分と木材との間の一種の結合力に因るもので之の結合力を低下せしめなければ水分を移動せしめる事は出来ない。之が爲に乾燥操作上の作用としては温度上昇以外に於ては無いのである。即ち温度を上昇すれば結合力の因子たるべき表面張力、毛管引力、粘性等は低下し、木材中の水分の分子は木材質の分子より活潑に運動又は振動するが故に、温度を上昇せしむる事に因つて結合力を低下せしめ、従つて水分の移動を安易ならしめるものである。結合力は含水量の減少に因つて増加するものであるから人工乾燥に於ては内部の水分移動を困難ならしめない爲に外殼部の水分のみを過度に減少せしめ此の部分の水分結合力を増加せしめない事が特に必要である。従つて人工乾燥に於ては温度を上昇せしめて結合力を低下せしめ水分の移動を安易ならしむると共に特に外殼部のみを過度に乾燥せしめない様に操作する事が必要である。

以上が木材内部の水分を擴散せしめる要素であるが之等の何れかに因つて擴散して表面へ移動された水分量 q_d は

$$q_d = k \frac{du}{dx}, 1000 \quad \text{但し } q_d \text{ 擴散水分量} \quad (1)$$

k 擴散係數
 $\frac{du}{dx}$ その點より表面への水分傾斜

にて表す事が出来る。

Egner⁽¹⁾ は擴散係數 k を次式で表はした。

$$Ku = \frac{\pi}{100} \frac{\frac{\partial}{\partial t} \{ \int u dx \}}{\frac{du}{dt}} \quad (3)$$

Egner⁽¹⁾ 及 Schüller, Fessel⁽¹⁶⁾ 等の多くの實驗により得た結果は第6圖の如く、Egner は乾燥過程に最後程温度を上昇させた爲に Schüller 等と結果を異にした即ち Egner のタウヒに對して得た擴散係數は含水率の減少と共に減少するが、Schüller 等は之と相反する結果を得てゐる、然し乍ら其の概要を窮知する事が出来る。

以上が人工乾燥機構の大要であつて之等の性質を最も有効に利用し得る如く乾燥因子を運用して乾燥経過を圓滑に運行する事が必要である。

(B) 人工乾燥に於ける乾燥因子

前述の如き乾燥機構を最も有効に運用せしむる爲には乾燥を生ぜしめる因子を最も合目的に活用するを要するのである。

一般に木材乾燥に於て、乾燥因子と云ふのは温度、關係湿度、空氣速度（減壓乾燥に於ては壓力）の三つが主なるものである。故に之等に就き概要を述べる。

1. 温度

温度が上昇すれば蒸氣壓を増加せしめ、内部壓力の増加により水分を壓出せしめ、或は亦木材纖維の水分との結合力を減少せしめて木材内部の水分の移動を安易ならしめる等既述した處である。Kollmann, Egner 等は種々の異なる温度の乾燥時間に及ぶ影響に關する實驗を試みて、例へば温度を 60°C より 80°C に上昇する事に因つて乾燥時間を約 60% も短縮せしめ、亦反對に温度を 60°C から 40°C に低下せしむれば約 150% も乾燥時間を増加せしめる。水分擴散に及ぶ温度の影響に就いては Obermeyer 其他の人々の研究によると

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{T_1}{T_2} \right)^n = \left(\frac{t_1 + 273}{t_2 + 273} \right)^n \quad (4)$$

T 絶對温度

で指數 n は木材に對しては 1.5 とされてゐる。亦實用的の近似値としては直線的の關係ありとされ

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{t_1}{t_2} \quad (4a)$$

の關係が認められてゐる。

斯くの如く温度を高く維持すれば乾燥を促進して經濟的にも有利となるのは事實で、従つて出來得る限り高温に維持すべきである。然し第 2 圖に示されたる如く、温度が上昇すれば同一の關係湿度に

てもその飽和に對する不足量が大となる爲に、乾燥が促進されるので危険を生じ易き爲、乾燥すべき材には或程度以上の高温は用ひ得られぬわけである。或は亦乾燥室の構造により極めて粗漏なる乾燥室に於ては、温度を高く上昇せしめて一定の關係湿度を維持せんとしても、水蒸氣が室外に放散せられ、關係湿度を低下せしめて、一定に維持せられぬ爲高温は避くべきである。従つて樹種、厚さ等に因つて異なるが、内部水分の移動性の困難なるもの、表面硬化、否み、含水率 30% 以下に於て生ずる表面割れ、纖維飽和點附近に於ける細胞收縮に因る内部割れ等の欠點を生じ易き傾向のある材に對しては自ら温度に制限があるもので Kollmann によると木材乾燥に於ける許容温度は第 7 圖の如くである。



第 7 圖 人工乾燥に於ける許容最高温度 (Kollmann)

2. 關係湿度

温度の一定なる場合にありては關係湿度の低下する程蒸發力は大となつて、亦同一の關係湿度にありても温度の増減に因つて蒸發力も増減する事は前述の如くである。

或る一定の温度に對しては木材中の水分と大氣中の湿度との間には或一定の平衡的關係があるもので此の平衡狀態の破れた時に木材中の水分が移動を起す事も前述した如くである。即ち乾燥の現象を生ぜしめんとする力は木材中の水分に對して平衡狀態を保つ可き大氣中の關係湿度と、その時の實際の大氣中の關係湿度との差異であると云ひ得る。木材の乾燥に於ては之の蒸發せしめんとする力を任意に大きくする事は出來はない。何故となれば木材の水分の移動は

前述した如く表面のみの水分を蒸發するのでなく、木材内部の水分を表面へ擴散せしめ、之の表面の蒸發量を擴散量より凌駕せしめぬ如く表面蒸發を抑制せしめる必要があり、決して任意に蒸發を促進せしめ得ないからである。従つて之等兩關係溫度の差異を樹種、厚さ及含水率に因つて如何にすべきやが問題となるであらう。Moll, Kollmann, Schüster 等によると大體その含水率を平衡とする時の溫度に對する關係溫度より30%を低下せしめるのを適當としてゐる。然し必らずしも常に斯様にすべきでなく、乾燥の困難なるもの即ち木材内部の移動の困難なるものに對しては之等の差異を附する事なく殆んど關係溫度100%に維持すべき場合のある事勿論である。

關係溫度と溫度には度々述べたる如く極めて密接なる關係を有するもので之等を分離する事は出来ない。人工乾燥に於ては之等兩者を適切に調節する事に因つて乾燥操作を実施しなければならない。人工乾燥に於て溫度、濕度を適當にするのに次の三つの方法がある。

1. 溫度を上昇せしめて濕度を低下せしめる方法
2. 溫度を同一にて關係濕度を低下せしめる方法
3. 溫度を上昇せしめて關係濕度を同一に維持する法

之等の中、我國にては多く(1)が用ひられてゐるが、(3)の場合と同様乾燥に時間を要するが、(2)は獨逸にて最も廣く應用される時間的にも、結果も良好である。事情の許す範圍内に於て(2)の方法を用ふべきであると思考するものである。

3. 空氣速度

自由水の蒸發には前述の如く蒸發力は空氣速度の平方根に比例するものであるが、木材の乾燥に於ては Kollmann⁽⁶⁾ は空氣速度に對する乾燥時間の比を次式で略々表はされとした。

$$t = \frac{5.3 + 3.6w_2}{5.3 + 3.6w_1} \quad (\text{空氣速度 } w = 5 \text{ m/s}) \quad (5)$$

之の式を用ひて自然換氣式、空氣速度 0.7 m/s, 1.8 m/s に對して求むれば夫々 10:7:5 を得られ、之等は必らずしも事實と一致するものでない。Schüster, Fessel 等は20mmのニレに就いて空氣速度0.2:0.7 m/s にて乾燥した時の實驗の結果は 4:3 (乾燥時間の比) となつて、Kollmann の式に因つて得た結果と大體の一致を示してゐる。亦自然換氣式と送風式との乾燥室にて乾燥する時間の比は從來 1:0.5 とされてゐる。然し未だ之等に關しては十分の研究が行はれてゐないが、斯様に空氣速度は乾燥時間に影響を及ぼす事甚だ大である事を知るのである。

以上極めて簡單に人工乾燥に於て木材水分の除去を生ぜしめる因子の主なるものに就き説明したので、實際には之等の因子は決して單獨に作用する事なく、必らず綜合的に作用して乾燥を促進するものである。

(C) 乾燥條件に關係を及ぼす木材の性質

木材の乾燥には溫度、關係濕度等の主なる因子を適當に作用せしめるのであるが、同一の乾燥條件に對しても、木材の樹種、厚さ及含水率或は木取法、木材の構造等に因つて差異を生ずるが、前者三つが木材乾燥に對して重要なる木材自體の條件なるが故に、茲では之等の乾燥條件に及ぼす影響に就いて略述する。

1. 樹種(比重)

比重の大なる木材は木材實質の比重が1.56にて一定と見做されてゐる以上、空隙率に關係するもので、比重の大なるものは即ち細胞膜厚く細胞腔の小なるものである。従つて比重の大なる木材は一般に水分の擴散が困難であると認められてゐる。之等は比重の大なる材は假令含水率が同一なりと雖も含有水分量の絶對量多く、水分の移動も擴散が困難なるべき細胞膜が厚き爲に益々困難となるのである。Kollmann⁽⁶⁾ は樹種の異なる場合は勿論、同一樹種にても比重と逆

比例するものであつて接線方向の擴散量 q を

$$q = \frac{1}{a\sqrt{m} + b\sqrt{n}} \quad (6)$$

m : 細胞膜質の比容積

n : 實際の比容積

a, b 定 數

で表はし、實用範圍内に於ては比重の平方根に逆比例する事を證明した。従つて乾燥すべき水分量は比重 γ に比例する事を考慮に入れて近似的に擴散量と比重との間に

$$fa = \frac{r_2^2 \sqrt{\gamma_1}}{r_1^2 \sqrt{\gamma_2}} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^{1.5} \quad (7)$$

の關係を與へたが、之の式の適合性は Moll, Sonnleithner が證明してゐる。

斯くの如くに比重の大なるものは乾燥速度遅く、擴散が困難なるために特に表面蒸發を抑制して内部の水分の擴散を計るべきである。比重に因つて各種乾燥條件に對する研究が行はれるならば、樹種による相異は必らずや將來比重に因て關係付けられるであらう。

2. 厚 さ

木材の厚さが薄い程中心部より表面迄の水分移動距離は小となつて、材積に比較して表面積が大となるから乾燥速度は速になるであらう。之れに反して厚い程乾燥時間を要するものであるが、(1) 實驗の結果によれば厚きもの程擴散速度が小さく従つて薄きものに比して表面蒸發を抑制しなければならない。(2) 假令表面蒸發を同一に保つと雖も中心部の移動は厚きもの程遅れる、(3) 或亦蒸發すべき水分量は厚さの割合に比して多量なるに反し蒸發面積が少なる等の爲に、厚さの増加の割合に比して乾燥時間を要するものである。

Martley⁽¹⁰⁾ は木材と空氣との如き全く相異なる二物體の境界に於て生ずる抵抗 w を假定して擴散速度の比を

$$\frac{q_1}{q_2} = \frac{s_2 + w}{s_1 + w} \quad (8)$$

なる式にて表はした。尙一般的には之等の關係は

$$\frac{q_1}{q_2} = \left(\frac{s_2}{s_1} \right)^n \quad (9)$$

なる式にて表はされ指數 n を Egner⁽¹⁾ は 1.7 とし Moll⁽⁹⁾ は 1.5 とし、Kollmann⁽⁶⁾ も亦 1.5 とし、松本氏は 1.45⁽¹¹⁾ としてゐる。即ち何れも $n > 1$ があつて厚さの増加よりも乾燥時間の大きなる事を示してゐる。尙 Martley⁽¹⁰⁾ の實驗による厚さと擴散係數との關係は第 8 圖の如くである。

以上の如く厚さに因つて水分擴散量を異にし、厚さの厚くなる程著しく擴散量が少くなる爲に厚きもの程表面蒸發を抑制して内部水分の連繫を斷たざる如くするを要する。従つて平均含水率が同一なる場合に於ては、厚さが異なれば水分傾斜も第 9 圖の如く異り、一般に厚きもの程外殻部の含水率少く、薄きもの程多くして、薄きものにありては水分擴散安易なる爲に關係溫度を外殻部の含水率を平衡とする關係溫度（之の關係溫度を以下平衡溫度と稱す）より相當低下せしめ得るに反して、厚きものは外殻部の含水率は低い、内部擴散量少き爲に、關係溫度を平衡溫度と同等或は却つて多くすべきである。従つて同一含水率に對しては薄きものは厚きものに比して關係溫度を低下して初めて圓滑なる乾燥經過を得られるものであつて、厚さを異にすれば決して同様のスケジュールにて實施され得ず、必らずその厚さに應じたスケジュールを決定すべきものである。

3. 含 水 率

含水率の高いもの程乾燥條件の大なる場合に於ては、水分傾斜が大となり易く、従つて表面のみが度々過度に乾燥し過ぎて損傷を生じ易いのである。含水率の多い間は既に述べたる如く内部壓力の増加による水分移動を用ふべきものであつて水分傾斜による水分移動は可及的避く可きである。含水率の多いもの程同一含水率迄に乾燥

するに時間を要すると雖も、乾燥速度は大なるものである。

Sonnleithner⁽¹⁵⁾によれば、乾燥速度は含水率の多き間は含水率のみ影響され、繊維飽和點以下に於ては含水率の外に乾燥時間が影響して乾燥が繼續される程速度は小になるとして

$$\text{乾燥初期に對しては } \frac{du}{dx} = -u \quad (10a)$$

$$\text{繼續飽和點以下纖維に於ては } \frac{du}{dx} = -u \frac{u}{z} \quad (11a)$$

を與へて之等を積分して夫々

$$\text{纖維飽和點以上 } u = u_{ul} - ar \quad (10b)$$

$$\text{同 以下 } u = \frac{au_0}{r} \quad (11b)$$

を與へ含水率の減少に伴ひ特に乾燥速度を緩慢すべきを示してゐる。Martley⁽¹⁰⁾は半徑方向に於ける擴散係數と含水率とは第10圖の如く拋物線的關係があり含水率25%に於ては5%の時の約4倍である事を見出した。之の實驗結果によるに如何に含水率の減少に伴ひ水分移動が困難となるかを知り得るのである。

斯くの如く含水率の多寡は乾燥速度に大なる影響を與ふべきものであつて過度に乾燥を來さざる如く、含水率に應じて條件を決定すべきものである。

(D) 乾燥機構竝に因子の運用

1. 運用の原則

人工乾燥 (Kiln-drying) に於て最も利用すべき機構は前述の如く表面蒸發で、内部水分を擴散せしめるにも表面蒸發による水分傾斜を利用する場合が極めて多い。乍併溫度を上昇せしめる事に因つて他の機構即ち内部壓力の増加及水分粘着力^(結合力)の低下による水分の移動をも用ふる事が出来るのである。従つて人工乾燥に於ても、生材よりの乾燥の場合に於ける如き含水率の多き場合の乾燥には後者を極力利用すべきものである。木材の損傷は殆んど凡て表面が過度の乾燥により水分傾斜過大となり水分の連繫が斷たれ、表面のみが收縮

して遂に表面硬化、表面割れ等の損傷を惹起するのであるから、水分傾斜を可及的緩慢であつて内部の水分を移動せしめるを要するのである。之が爲には内部壓力の増加、水分吸着力の低下による水分移動を應用しなければならない。乍併爐乾燥に於ては之等のみによりて、如何に含水率多き場合と雖も内部の水分を移動せしめる事は不可能であつて常に表面蒸發を併用すべきものである。

爐乾燥に於ては内部壓力及水分粘着力の低下による水分移動は含有水分量の多寡による爲之等を利用し得べき期間は極めて短く、實驗結果によれば含水率60%程度に至れば之等に因る移動は殆んど停止されるに至るのである。従つて斯る含水率以下に於ける乾燥は凡て表面蒸發及之れに基因する内部水分の移動に因るべきものである。

次に乾燥機構を以上の如くに運用せしむるには乾燥因子を如何に作用せしむべきかは自ら明白の事である。即ち人工乾燥に於て内部壓力及水分粘着力の低下により水分を移動せしむるには表面よりの蒸發を停止して溫度を上昇せしめざるべからず。木材内部溫度を上昇せしむれば木材細胞腔内の空氣は膨張して容積を増加せんとし、且水蒸氣を蒸發して水蒸氣壓を増加せしめ、之等の綜合的作用が内部壓力となつて、木材内部の水分を壓出せしむるのである。之の場合と雖も爐室内を如何に飽和狀態に維持すると雖も、例へば溫度、100°C、關係濕度100%に對する木材の平衡含水率は約30%程度なるを以て、木材表面の水分は平衡含水率に到達せんものと必らずや表面蒸發を生ずるものである。爐乾燥室内の溫度、濕度を内部壓力を増加せしめ得る如くするには Steaming を用ふる事を最も有利とし、之の方法を用ふれば短時間内に溫度 95°C 以上、關係濕度100%以上に維持し得るのである。

然るに斯くの如き溫度上昇の爲の内部壓力の増加により水分を移動せしめ得るのは含水率60%程度迄なるを以て、之れ以下に於ては

表面蒸發に因らなければならない。之が爲には主として關係濕度を表面蒸發により表面のみが過度に乾燥して水分の連繫を絶たざる如くに適當に維持するを要するのである。之れ即ち乾燥因子の機構に對する運用の一般的原則である。

2. 「スケジュール」決定の準據

以上各乾燥機構を最も有効に運行する爲め乾燥因子運用の一般的法則を述べたが、人工乾燥に於ては之の原則を遵守する如く溫度、濕度を決定して乾燥基準表（スケジュール）を決定すべきである。即ち含水率の多き間（60%以上）は表面蒸發を出來得る限り阻止して溫度上昇に因る内部壓力の増加の爲の水分の移動性を利用する如くし、含水率の漸減に伴ひて、表面割れ、水分移動の連繫の中絶を來さない程度の水分傾斜を以て表面蒸發により内部水分を移動せしめ乾燥過程を進捗せしめる如く關係濕度を保持するを要するものである。木材の水分は常に外氣の溫度及關係濕度に對する平衡含水率に到達せんものとするのである。而して木材水分はその内部の水分を移動蒸發せしめんが爲には常に一定の水分傾斜を必要とするもので、之の傾斜は木材内部水分と外殻部の水分とに因つて決定さるべきものであつて、外殻部水分は木材内部水分との連繫も必要とし、外氣の溫度、濕度とも關係すべきものなるが故に、外殻部の含水率をして、水分傾斜を適當に保たせ得る如くに外氣の條件を決定すべきものである。即ち乾燥室の溫度及關係濕度は材の外殻部の含水率に因つて決定されるものであると言ひ得るのである。外氣の關係濕度が外殻部の含水率を平衡とするが如き關係濕度なる場合には外殻部は既に平衡狀態に到達してゐるが故に之れ以上乾燥が進捗される事なく、從つて内部水分との傾斜も漸次緩漫となり、乾燥は遂に停止されるに至るので、乾燥の經過中に於ては外殻部の含水率を平衡とする關係濕度より常に低下せしむべきである事は肯首し得らるゝ。

處である。而して之の低下せしむべき量が問題となるのである。

平均含水率の同一なる材に於ても、厚さを異にすれば水分傾斜に差異を生じ、外殻部に於ける含水率を異にする故に、外殻部の含水率の狀態に因つて乾燥基準を決定する以上、厚さに因つて各々基準表を決定すべきものである事は前述せる處である。

次に乾燥基準は乾燥の經過に伴ひ異にすべきものであるから、今之れを初期、中期及後期に分ちてその操作の基準を述べれば次の如くである。

乾燥初期 生材等の如き含水率60%以上の材の乾燥に於ては表面蒸發を停止せしめ、木材内部溫度を極力上昇して内部壓力の増加及水分粘着力の低下によりて内部の水分を移動せしめるのである。之が爲には高溫度の飽和蒸氣を以て噴霧せしめて内部溫度を 90°C 以上、關係濕度は飽和ならしめる。之の場合に於ては溫度を極力上昇せしめるのであるが、乾燥室内は如何に密閉にすると雖も何處かに微細な空隙ありて外氣に通ずるものなる故、室内を一氣壓以上に維持する事は不可能なるが爲に溫度を 100°C 以上に上昇せしめる事は不可能である。尙之の場合に於て表面よりの蒸發は停止される事なく、外殻部含水率が平衡含水率に到達せんとして絶へず行はれてゐる。

乾燥中期 木材内部が未だ纖維飽和點に到達せざる此の時期に於ては、可及的表面よりの蒸發を抑制して内部の水分を擴散により外部に移動せしめるを要するのである。之の場合に於ては未だ纖維飽和點以上なるを以て溫度を上昇せしむれば、既に水分傾斜が存在してゐる以上内部壓力の増加に因りて水分の移動を安易ならしむる事可能なるを以て、時々高溫度に上昇せしむるを要す。之れ中間に行ふ Steaming である。之の時期に於ては内部が未だ纖維飽和點以上であつて既に表面は纖維飽和點以下に到達してゐるが故に、特に

表面のみの蒸発によつて、表面硬化を生じ易き爲、關係湿度のみを増加せしめる噴霧處理を必要とするのである。

乾燥後期 木材内部が纖維飽和點以下に到達したる後は、表面蒸発のみによる内部水分の擴散によるべきものであつて、外殻部の水分は益々結合力が増加する爲に水分の傾斜は乾燥の進捗につれて漸次緩やかになるべきものである。故に此の場合に於ては、溫度を高く、關係湿度を低下せしめても損傷の生ずる憂ひは少い。従つて關係湿度を厚板にありては50%、薄き板に對しては40%以下に漸次移行して外殻部の含水率を更に減少せしめて水分傾斜によつて乾燥を進捗せしめ、それに伴ひ更に關係湿度を低下せしめて行くのである。此の場合に於ても、中期に於けると同様表面硬化に陥らない様に適當の處理を要するものである。

以上人工乾燥に於ける基準の準據となるべきものであつて、之れ一般的原則ではあるが、溫度の高さ、關係湿度等は樹種、厚さに因りて異にしなければならぬ故、今後各樹種に對する之等の關係を實驗的に求めんとするものである。

III 試驗方法

A 供試材

北海道函館營林區署管内久遠太櫓事業區のブナ (*Fagus crenata* Blume) 及旭川營林區署管内落合事業區のナラ (*Quercus crispula* Blume) の官行斫伐材を以て供試木とし、之等より何れも一般製材に於けると同様、厚さ 25mm (1吋) 及 60mm (2吋) の板材に製材し之等を以て供試材とした。

A 乾燥試驗裝置

人工乾燥試驗に用ひた乾燥室は利用部工場内に施設されてゐる乾燥室であつて、その概要は第11圖にて明なる如く、厚さ 30cm の煉

瓦造りで中間を中空とし間口 3.2m 奥行 5m 地上高 3.1m、地下 1.8m の自然換氣式乾燥室であつて送氣孔は地下部の放熱器の下に設備され、排氣孔は側面壁に各々 6 箇所、各々上、中、下の三段に設けられ、何れの箇所も排氣筒として側壁内を屋根へ貫通して、外氣に開放され中部排氣孔よりの高さ 7.8m である。地下部の放熱裝置は四箇のヘッダーより各々 1 $\frac{1}{4}$ " のパイプ 12 本合計 48 本を以てし、之の放熱面積 27.352 m² にして乾燥室 1m³ 當り 0.408 m² の割合である。特に室内の溫度の差を少くする事に留意し、鐵管内にドレインの溜るを防ぐ爲、鐵管に 1/10 の傾斜を附し、各鐵管は曲管による折返しを避け入口の方より空氣を送入し後方のみに送られ、室外にてトラップに連結されて居る。

生蒸氣噴霧の爲、壁側に 1m 間隔に 1mm 徑の穴を有する 1 $\frac{1}{4}$ " のパイプを三段設け Steaming の際室内溫度が高温に達し得る如くなし、之の外關係湿度調節の爲、中央部の放熱裝置と床との中間に一本、上記同様の pipe を附設してある。尙乾燥初期に於て露の天井面に附着し惡影響を及すのを防ぐ爲、天井に 1 $\frac{1}{4}$ " の pipe 四本を設けた。

加熱用鐵管の蒸氣は常用壓力 6kg/cm² の多管式ボイラー (長さ 2600mm、徑 1100mm) より 1.4kg/cm² (20lb) の減壓弁を通過して常に同壓力の蒸氣が送られ、生蒸氣噴霧用鐵管には減壓される事なく、高壓の蒸氣がそのまま噴霧され室温を高く保ち得る様にされてゐる。

本乾燥室の溫度及濕度の調節は各鐵管に設けられたる pressure guage の指針を考慮しつつ各鐵管の弁の開閉によりて行ひ、特に調節裝置としては設けて居ない。室内の最高に達し得る溫度は時季に於て異にするが大體 70~75°C にして、Steaming 用としてはボイラーより來る 6kg/cm² の生蒸氣を噴霧せしめるために溫度は 30分~1

時間以内に殆んど 100°C 近くに達し得る。湿度調節も中央の生蒸氣噴霧用鐵管及排氣孔の開閉によりて行ふが、pressure gauge の指針を常に一定にする如くすれば、或る湿度を殆んど正確に維持する事が出来る。

空氣の循環は送氣孔より入りたる空氣が放熱器の爲に溫度上昇し、關係溫度低下されて上部に上昇し、乾燥すべき材の間を通過して濕氣を吸収し溫度も低下し壁側に沿ふて下降し一部は排氣され、一部は地下部に流れ落ちて送氣孔より來れる空氣と共に再び放熱器によりて熱せられ、同様の過程を辿るものである。乾燥初期の多濕なる時に特に空氣の圓滑なる循環を必要とするのであるが、之が爲に室外の地下に送風器を設けて空氣の循環を促進せしめ得る如くされて居る。

尙實驗用として小型の乾燥室即ち奥行 1.2m 間口 0.9m、高さ 1.3m の上述の乾燥室と同様の構造を有する實驗乾燥裝置及島津製恒溫恒濕器を以てし、之れ等にて得たる實驗結果を乾燥試験室に適用したのである。

C 試験操作

上述せる如く實驗的に適當なる結果を得たる時に乾燥試験に於て同様の操作を実施し實際的操作として適當なる結果を得る迄實施せるものにして、その方法は次の如く行つた。

1. 準備

乾燥操作開始前の準備としては材積、溫度計の懸吊及資材の含水率、比重の測定等である。

棧積の方法に因て空氣の流通狀態に變化を及し、乾燥過程に變化を與ふる事は研究されたる處であるが、茲には平積の平行積を用ひ適當なる箇所後述の試験片を挿入し、乾燥經過の進行程度を知るに便利にした。

棧木は 60mm 板造は 1" (25mm) とし、棧木の間隔 1m、資材の積み方は中央部に約 60~70cm の空間を略楔型に與へ、上部は覆ひ、兩側面は辛して歩行し得る程度の空間を設けて空氣の流動を放熱器より上昇した熱氣は資材の間を必ず通過して兩側壁面に沿ふて下降し得る如くしたのである。

溫度計には乾球、濕球の二本を設け、之等を中央部及側面中央部の二箇所吊し、之等二ヶ所の溫度、濕度指木の相違に因て乾燥進行の程度を知り得る如くし、中央部の溫、濕度を豫定「スケジュール」に保たしめた。

乾燥試材の含水率の多寡に因て操作及スケジュールを異にするため、操作開始前に含水率を測定するを要し、比重は樹種を異にする毎に測定した。

乾燥の進行狀況を知るために數箇の試験片を採つた。之は資材の中より適當のものを撰び、木口より 20~30cm を除きて長さ 50cm のものを數ヶ採り、之の外之の含水率を測定する爲に之等の兩側より小試験片を採りて秤量後、乾燥器に入れて含水率を算定し、試験片が之等小試験片と同様の含水率なりとの假定の元に試験片の重量を測定する事に因つて直ちにその含水率を知り乾燥經過を知り得る如くした。

即ち第12圖に示せる如く試験片を a, b, c, の各二箇宛の含水率の平均値を以て試験片 A, B, C, D の含水率 w_1, w_2, w_3, w_4 % となし、重量を夫々 M_1, M_2, M_3, M_4 絶乾重量の計算値を m_1, m_2, m_3, m_4 すればこの各々は

$$m_1 = \frac{M_1}{1 + \frac{w_1}{100}}, \quad m_2 = \frac{M_2}{1 + \frac{w_2}{100}}$$

にて求める事が出来、從つて各々 $\frac{M_1 - m_1}{m_1} \times 100$ に依て含水率を推定する事が出来、毎日定時刻に重量 M を測定する事に因てその減少

の状態を知る事が出来る。

尚厚板の乾燥の場合には中心部と外部との含水率の相違を知り分布状態を知る爲に第13圖の如く上記試験以外に試験片を採り、層状に切斷して之れに因て分布状態をも見たのである。

比重は絶乾重量を測定後、表面にパラフィンを塗布して水中に沈め、容積を求めて重量を容積にて除して計算した。

2. 操 作

樹種、厚さ及含水率によつて操作を異にしなければならない事勿論である。後述する如く或るスケジュールを想定し、最初は含水率に従ふ、Steaming を適當時間實施し、然る後此のスケジュールに従ふ如く温度、湿度の調節をバルブの開閉及排孔、送氣孔の開閉によつて行ひ毎日定時刻に豫め挿入せる試験片を秤量し、含水率を算出して乾燥程度を察知し豫定の乾燥程度に到達せる時を以て操作を終了するのであるが、之の際室内を多湿に保つて表面に僅か濕氣を吸収せしめ、そのまま放置して冷却せしめたる後、室外へ搬出して全操作を終了とするのである。而して表面割れ曲り反張、等の欠點を檢討する。

3. 方 法

本試験は或るスケジュールを想定して、之れを實驗乾燥室或は恒温恒濕器に於て實施し、そのスケジュールに對して確信を得たる後之を乾燥試験室に於てその成果を觀たもので同一樹種同一厚さに對して數回繰返し、各面に於ける水分蒸發量を方程式より求め、

$$qv = \frac{1000 W_1 V (u_1 - u_2)}{F, Z} \quad (1)$$

之等多くの qv の綜合結果より實驗式によつて最も適當なるべき各含水率に對する蒸發量を求めて、之より一日に於ける適當なる標準蒸發量を算定して標準乾燥速度を決定し、各平均含水率に於ける適當なる水分傾斜を求め、最外殻部の含水率を求めて之れを平衡とす

べき温度關係湿度を求め、以てスケジュールを決定せんとしたものである。

IV 試 驗 結 果

A ブナ材の部

北海道に於けるブナ材は最近殆んど利用されず顧られなかつたので當場に於て數年前に之が利用開發を目的として乾燥を實施したもので乾燥に關する試験結果は次の如きものである。

1. 乾燥基準に就て

a 厚さ 25mm (1吋板)

i 乾燥試験成績

ブナ材の厚さ 25mm (1吋板) に就て行つた數回の實驗結果の中何等損傷を生ずる事なく終了し得たる結果は第2表～第6表で實施したる回数も多いと云ふ事は出来ないが、前項の方法により水分蒸發量を求め、スケジュールを決定するには充分である。

第2表 乾燥實驗成績 (25mm板)

No. 1—19

乾燥 日數	含 水 率 (%)					温度 (°C)		關係 湿度 (%)	備 考
	平均	1	2	3	4	乾球	濕球		
0	34.85	30.96	35.37	36.52	36.55	—	—	—	Steaming 1時間實施後
1	30.03	29.27	29.28	31.44	30.13	50	45	75	50°C, 75%に保つ。
2	21.30	24.45	19.17	21.30	20.29	50	45	75	含水率の減少狀況も略
3	15.03	17.87	13.01	14.96	14.29	55	45	56	一樣に進行せり。
4	11.71	12.62	10.81	12.42	11.30	55	40	40	
5	8.76	8.67	8.17	9.46	8.73	60	40	30	

第3表 乾燥實驗成績 (25mm板)

No. I-18

乾燥 日数	含 水 率 (%)					温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
	平均	1	2	3	4	乾球	湿球		
0	36.45	37.76	37.06	36.49	34.52	—	—	—	含水率30%以下なるにも拘らず關係温度90%以上に保ちたるため、含水率の減少全く進行せず、故に、3日目頃より關係温度を急に低下せしに極めて良好なる乾燥経過を示した。
1	35.90	37.76	35.61	36.47	33.77	50	49	95	
2	34.03	34.13	34.54	35.43	32.22	45	43	89	
3	28.30	31.21	28.36	27.81	25.81	45	40	74	
4	20.82	26.09	22.05	18.73	16.42	47	38	56	
5	16.51	22.07	17.77	14.01	12.18	50	37	44	
6	12.75	17.69	14.56	10.02	8.71	50	35	37	
7	10.18	14.40	11.70	7.84	6.78	55	35	32	

第4表 乾燥實驗成績 (25mm板)

No. I-20

乾燥 日数	含 水 率 (%)					温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
	平均	1	2	3	4	乾球	湿球		
0	25.17	22.74	23.73	25.70	28.52	—	—	—	Steaming 1時間實施後50°C, 75%に保ちて進行すれども含水率減少状況極めて少く、最初に於て關係温度高きに過ぎたり。
1	24.58	22.74	23.07	24.74	27.78	50	45	75	
2	20.00	19.47	20.26	20.27	—	50	42	62	
3	19.07	17.83	18.51	17.18	22.75	55	42	46	
4	15.03	15.38	13.60	12.71	18.44	55	40	40	
5	11.49	12.11	10.09	9.27	14.50	60	40	30	

第5表 乾燥實驗成績 (25mm板)

No. I-21

乾燥 日数	含 水 率 (%)				温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
	平均	1	2	3	乾球	湿球		
0	20.08	19.92	20.00	20.32	—	—	—	最初の含水率少きために、最初より關係温度60%以下に維持したるに何れも缺點も生ぜず好結果に終了せり。
1	16.60	16.47	17.32	16.02	60	50	58	
2	10.78	9.96	11.11	11.28	60	47	49	
3	7.67	7.27	8.00	7.73	60	45	43	

第6表 乾燥實驗成績 (25mm板)

No. I-25

乾燥 日数	平均 含水率 (%)	温 度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
		乾球	湿球		
0	111.33	—	—	—	最初の3日間温度を極力上昇せしめる如く Steaming を實施し再後關係温度75%に保ちたるに極めて良好なる減少状態を示した。而して含水率多き場合にても、相當低き關係温度にて進行せしめ得る事を見出せり。
1	—	—	—	—	
2	—	—	—	—	
3	81.85	—	—	—	
4	76.47	50	45	75	
5	68.22	51	45	73	
6	63.92	51	45	73	
7	60.33	51	45	73	
8	54.59	51	45	73	
9	48.13	52	45	70	
10	39.53	52	45	70	
11	31.27	55	45	56	
12	26.61	55	43	48	
13	21.59	55	40	40	
14	14.06	58	40	35	
15	11.91	60	40	30	

第7表 水分蒸發量 (板25mm)

番 號	乾燥時間 (h)	平均含水率 (%)	1m ² 中の水分 含有量(kg)	1日中に於ける 蒸發量(kg/m ²)	蒸發水分量 qv(g/m ² -h)
No. I-19	0	34.85	213.980	29.600	15.42
	24	30.03	184.380	53.580	27.91
	48	21.30	130.800	38.520	20.06
	72	15.03	92.280	20.380	10.62
	96	11.71	71.900	18.120	9.44
	120	8.76	53.780	—	—
	0	36.45	223.803	3.377	1.76
	24	35.90	220.426	11.175	5.82
	48	34.08	209.251	35.489	18.49

No. I-18	72	28.30	173.762	45.927	23.92
	76	20.82	127.835	26.464	13.79
	120	16.51	101.371	23.086	12.03
	144	12.75	78.285	15.780	8.22
	168	10.18	62.505	—	—
No. I-20	0	25.17	154.544	3.623	1.89
	24	24.58	150.921	28.121	14.65
	48	20.03	122.800	5.710	2.97
	72	19.07	117.090	24.806	12.92
	96	15.13	92.284	21.735	11.32
No. I-21	120	11.49	70.549	—	—
	0	20.08	123.291	21.367	22.26
	24	16.60	101.924	35.735	37.22
	48	10.78	66.189	19.095	19.89
No. I-25	72	7.67	47.094	—	—
	0	111.33	683.566	181.007	31.43
	72	81.85	502.559	33.034	17.21
	96	76.47	469.525	50.654	26.38
	120	68.22	418.871	26.402	13.75
	144	63.92	392.469	22.043	11.48
	168	60.33	370.426	35.243	18.36
	192	54.59	335.183	39.665	20.66
	216	48.13	295.518	52.804	27.50
	240	39.53	242.714	50.716	26.41
	264	31.27	191.998	28.613	14.90
	288	26.61	163.385	30.822	16.05
	312	21.59	132.563	46.235	24.08
	360	14.60	86.328	13.201	6.88
	384	11.91	73.127	—	—

ii 水分蒸發量

以上の結果より方程式(1)に因りブナ材の比重を $0.614^{(8)}$ として水分蒸發量を求むるに第7表の如くである。但し表中 qv は1日中に於ける蒸發量を 1.920 にて除したものである。

理由 棧積せる板の上、下の兩面積は側面積に比して著しく大きく且室内の空氣の循環より見て水分の蒸發は大部分が之の兩面にて行はると見做されるが、故に蒸發面積としては側面積を無視して表面積 $F = \frac{V}{d} \times 2$ なる式を用ふれば厚さ 25mm に對する材積 $1m^3$ の表面積 $F = \frac{1.0}{0.025} \times 2 = 80m^2$ なり。而して1時間、 $1m^2$ に對しては1日の蒸發量を $80 \times 24 = 1920$ に除し、單位を gr にて表す爲に 1.92 にて除せるものなり。

iii 標準水分蒸發量

次に各含水率と之に對する水分蒸發量との關係を圖示すれば第14圖の如く、含水率を x 、水分蒸發量を y とせば含水率 40% 以下に對しては概ね拋物線 $y = ax^b$ にて表はされ、40% 以上は直線的と見做し、 a b の定數を平均法に依り求むるに夫々次の値を得、

$$a = 2.6787 \quad b = 0.528$$

$$x \leq 40\% \text{ の時は } y = 2.6787x^{0.528} \quad (12a)$$

$$x > 40\% \text{ の時は } y = 18.8 + 0.14(x - 40) \quad (12b)$$

なる關係式を得た、之の方程式より計算にて各含水率に對する標準水分蒸發量 Q_v (g/cm^2h) を求める事が出来るのである。(第8表)

第8表 標準水分蒸發量

含水率 (%)	標準水分蒸發量 qv (y)	含水率 (%)	標準水分蒸發量 qv (y)	備考
5.0	6.3	30.0	16.2	但し
7.5	7.7	35.0	17.5	$x \leq 40$
10.0	9.0	40.0	18.8	$y = 2.6787x^{0.528}$
12.5	10.2	50.0	20.2	$x > 40\%$
15.0	11.2	60.0	21.6	$y = 18.8 + 0.14(x - 40)$ に因る。
17.5	12.1	70.0	23.0	
20.0	13.0	80.0	24.4	
22.5	13.9	90.0	25.8	
25.0	14.7	100.0	27.2	

iv 標準乾燥速度

標準水分蒸發量 Q_v より終局の平均含水率を 5% 比重を 0.614 として之の時の材積 $1m^3$ 中の水分含有量を計算し、尙亦之の場合に於ける標準水分蒸發量 Q_v (g/cm^2h) に 1.92 も、乗じ厚さ 25mm、材積 $1m^3$ より 1 日中に蒸發すべき蒸發量 (kg/m^2d) を計算し、之を上記水分含有量に加算する事によつて 1 日以前に於ける含有水分量即ち含水率を求める事が出来る。

斯様にて逐次標準水分蒸發量より實驗結果を基礎とした適當な前日の含水率を算出し、1 日に於ける含水率減少程度を求め、乾燥速度の標準を知る事が出来る。之の方法にて求めたる結果は第 9 表、第 15 圖の如くである。

第 9 表 標準乾燥速度

含水率 (%)	$1m^3$ 中の水分量 (kg)	水分蒸發量 (qv)	1 日中に厚 25mm 材積 $1m^3$ 中よりの水分蒸發量 ($qv \times 1.92$) kg/m^2
5.00	30.70	—	—
6.97	42.80	6.3	12.10
9.28	57.01	7.4	14.21
12.00	73.71	8.7	16.70
15.13	92.91	10.0	19.20
18.66	114.61	11.3	21.70
22.57	138.61	12.5	24.00
26.92	165.28	13.9	26.67
31.70	194.65	15.3	29.37
36.92	226.71	16.7	32.06
42.55	261.27	18.0	34.56
48.55	298.13	19.2	36.86
54.81	336.53	20.0	38.40
61.31	376.47	20.8	39.94
68.31	418.34	21.8	41.87
75.32	461.92	22.7	43.58
82.64	507.42	23.7	45.50
90.36	554.84	24.7	47.42
98.43	604.38	25.8	49.54

v 乾燥基準 (Schedule) の決定

以上の如く標準乾燥速度即ち標準水分減少の状態を明にしたるを以て次に日々の含水率に於ける適當なる水分傾斜を求める。水分傾斜に關しては既に研究されたる松本氏の實驗結果⁽¹³⁾を適用し、上記の含水率に於ける最外部及中心部の含水率を求めるに第 10 表第 15 圖の如くである。

第 10 表 外殼部含水率及平衡含水率

含水率 (%)	外殼部含水率 (%)	中心部含水率 (%)	外殼部含水率を平衡とする關係溫度 $^{\circ}C$ (60 $^{\circ}C$)	平均含水率を平衡とする關係溫度 $^{\circ}C$ (60 $^{\circ}C$)	備 考
82.6					外殼部中心部の含水率は松本氏の水分傾斜曲線より平衡溫度は Kollmann の圖より求めたるものである。
75.2					
68.1					
61.3					
54.8					
48.6					
42.6					
36.9	30.0	42.0			
31.7	26.0	37.0	100		
26.9	23.0	31.5	98	100.00	
22.6	19.0	26.0	91	95.0	
18.7	16.0	21.0	88	90.0	
15.1	12.0	17.0	75	84.0	
12.0	10.0	13.0	66	75.0	
9.3	7.5	10.0	51	62.0	
7.0	6.0	8.0	40	47.0	
5.0	4.0	6.0	23	31.0	

厚さ 25mm の含水率 23% 以上の材に於ては最外部の含水率、纖維飽和點以上なるを以て、23% 以上に於ては特に適當なる傾斜と云ふのは無く、唯最外部を纖維飽和點以上に維持すれば足るを以て第 15 圖に於ける如く外殼部、中心部の含水率より夫々適當に定めたるもの

なり。之の傾斜は最も損傷少く且迅速に乾燥せしめる爲の水分傾斜なるを以て乾燥進行中は常に之の傾斜を維持する如く温度、湿度を決定せざるべからず。之の傾斜の存在する時は中心部の水分は外部へ移動するものなれば、中心部の水分は減少し傾斜は小となるを以て外界の關係湿度を低下せしめ外殻部の水分をしてその含水率がその時の温度、湿度に對する平衡含水率に達する迄蒸發せしめ、平衡に達すれば再び水分傾斜が小となるを以て湿度を低下せしむ。之の操作を繰返すものなれば乾燥室内の關係湿度は材の外殻部の含水率を平衡とする關係湿度より常に低下せしめおくを要す。之の低下せしむべき程度を如何にすべきかが問題となる。

最外殻部の含水率を平衡とする關係湿度（温度に關しては理論的考察に於て述べた如く温度高き程迅速であるが、温度高くする時は關係湿度の維持困難なる故常に60℃に維持した）は第15圖に示された如くてある。然るに No. 5 の實驗結果を見るに平均含水率 30%以上の含水率の多量なる場合は關係湿度75%にて充分で之れ以上の湿度を保たしめたる實驗（No. 18）結果は殆んど含水率の減少を來たさなかつた事實より徴すれば首肯し得るのである。即ち平均含水率30%に於ける外殻部の含水率は26%、之の含水率を平衡とする關係湿度は約 100%で關係湿度を約25%を低下せしめ得る事を知るのである。（參考に Kolmann による平衡含水率圖を第16圖に掲ぐ）

次に終局に於ける關係湿度を検するに何れの實驗結果よりするも平衡含水率12%に對しては關係湿度40%、9.3%に對しては30%を適當とする事が見出されてゐる。故に各外部の含水率10.0%及7.5%に對する平衡湿度は夫々66%、51%なるを以て前と同様夫々を平衡とすべき關係湿度より26~21%を低下せしめ得る事を知るのである。

即ち之等より關係湿度は外殻部の含水率を平衡とする關係湿度より

り常に26~21%を低下せしめて進行し、更に乾燥の進捗に伴ひ關係湿度を20%に保たしめて終局するを適當と思料されるのである。

茲に於てブナ材の厚さ 25mm (1") の乾燥スケジュールは第11表の如きものが最も適當だと言ひ得るのである。

第11表 乾燥基準表 (ブナ25mm板)

含水率 (%)	温度(℃)		關係湿度(%)	含水率5%迄に減少するに要する日数	含水率10%迄に減少するに要する日数	備 考
	乾 球	濕 度				
80.0	60	55.5	75	16	14	含水率60%以上に於ては特に高温度の Steaming を用ひて水分を減少せしむる事。
75.0	60	55.5	75	15	13	
70.0	60	55.5	75	14	12	
65.0	60	55.5	75	—	—	
60.0	60	55.5	75	13	11	
55.0	60	55.5	75	12	10	
50.0	60	55.5	75	11	9	
45.0	60	55.5	75	—	—	
40.0	60	55.5	75	10	8	
35.0	60	55.5	75	9	7	
30.0	60	55.5	75	8	6	
25.0	60	52.0	65	7	5	
20.0	60	50.0	53	5	3	
15.0	60	46.0	46	4	2	
10.0	60	41.0	32	2	0	
5.0	60	35.0	20	0	—	

尚平衡含水率の各々に對する平衡湿度は第15圖の如くで、之を維持すべき關係湿度は常に30%程度の相違あるを以て Moll⁽⁹⁾氏の如く“關係湿度はその平均含水率に對する平衡湿度より $\frac{3}{10}$ 低く維持すべきである”と全く一致するものである。

b 厚さ 60mm 板

i 乾燥試験成績

厚さ 60mm (2寸) 板に就て實施した回数は僅かに三回で之等の成

續より標準水分蒸發量 qv を決定する事は危険の様であるが充分にその傾向を窺知する事が出来たので、茲にその結果を記述する。實

第12表 乾 燥 實

乾燥 日 数	平 均 含水率 (%)	水 分 分 布 状 態 (%)						
		a	b	c	d	e	d'	e'
0	28.51	25.25	28.92	31.72	31.53	30.18	28.90	28.74
1	23.64	16.41	25.53	27.67	27.93	26.81	26.31	25.23
2	20.18	12.96	19.10	25.06	26.96	26.95	22.52	19.73
3	18.61	9.98	18.32	25.53	24.30	26.15	23.51	19.30
4	16.84	11.38	14.71	18.42	21.09	22.18	20.71	17.36
5	12.03	8.53	10.85	13.20	14.70	16.15	14.05	13.90
6	11.73	7.21	11.66	13.26	13.97	14.19	14.05	12.97

第14表 乾 燥 實

乾燥 日 数	平 均 含水率 (%)	水 分 分 布 状 態 (%)						
		a	b	c	d	e	d'	e'
0	101.48	91.05	96.62	98.84	96.44	101.25	109.81	107.53
1	89.93	68.95	86.42	92.32	101.48	104.55	101.78	100.83
2	80.62	56.25	64.61	77.74	81.05	92.77	97.90	95.01
3	74.96	56.19	65.44	71.76	84.49	86.30	86.30	83.69
4	74.66	64.70	74.41	79.87	85.80	84.95	83.17	77.22
6	65.49	60.93	59.42	69.40	70.74	72.74	73.04	68.29
7	65.02	44.22	62.19	69.83	72.77	71.54	72.87	74.80
8	55.66	40.96	51.94	58.95	62.73	63.35	52.49	62.32
11	39.75	30.92	39.03	41.33	42.79	46.08	44.29	40.90
13	39.22	33.61	38.88	41.63	41.75	41.76	41.74	41.09
14	34.63	29.59	35.20	37.67	35.61	35.39	35.45	35.69
15	33.02	29.63	33.61	34.43	34.11	34.72	33.76	33.81
16	29.96	28.66	33.79	34.04	32.41	30.62	28.76	28.16
17	26.61	21.21	25.33	26.35	27.06	29.49	28.72	29.08

驗の結果は第12表~14表の如くで、以下前項厚さ 25mm の場合に準じて Schedule を決定せんとする。

驗 成 績 (ブナ60mm板) No. 1—24

b'	a'	温 度 (°C)		調 候 温 度 (%)	備 考
		乾 球	濕 球		
27.14	24.60	—	—	—	最初高壓の Steaming を以て開始、中止
20.67	16.19	50	45	75	後75%に維持す。
15.89	12.47	50	45	75	表面のみ乾燥過度に陥り易き爲に、常に
14.17	8.21	50	45	75	低壓の Steaming を行ふ事に留意す。
14.89	10.85	50	43	66	
10.30	6.66	50	43	66	
10.43	7.83	50	43	66	

驗 成 績 (ブナ60mm板) No. 1—22

b'	a'	温 度 (°C)		調 候 温 度 (%)	備 考
		乾 球	濕 球		
107.70	104.14	—	—	—	最初高壓の Steaming にて温度を上昇せ
90.76	62.27	60	58	90	しめ、漸次低壓に低下せしめて、90%
89.75	70.52	60	58	90	に維持し、以後毎日一定時刻に高壓の
77.23	62.26	55	53	90	Steaming を30分実施す。
71.34	50.46	55	53	90	含水率50%前後に於て85%に低下せるに
63.82	50.99	50	48	89	表面は過度に乾燥せるため90%附近に維
66.85	50.10	50	48	89	持せり。
57.10	41.14	50	48	89	
38.28	34.08	50	48	89	
37.19	35.33	50	47	85	
34.75	32.21	50	47	85	
33.30	29.79	50	47	85	
27.42	25.79	50	47	85	
29.36	22.91	50	47	85	

第13表 乾 燥 實

乾燥 日 数	平均 含水率 (%)	水分分布状態 (%)						
		a	b	c	d	e	d'	e'
0	43.48	37.40	43.86	45.76	47.52	49.77	46.11	42.60
1	40.21	35.45	40.32	42.42	43.21	44.14	41.05	41.06
2	36.10	31.79	37.17	39.35	41.19	42.54	38.04	33.90
3	31.04	24.18	33.07	34.80	37.47	39.70	34.36	30.02
4	30.65	21.44	29.56	32.98	35.62	37.92	34.60	31.61
5	29.36	22.80	27.91	31.91	35.70	37.48	32.91	27.46
6	28.13	20.80	26.05	30.33	33.34	35.43	32.75	28.94
7	24.37	15.29	22.87	29.12	30.75	32.09	30.71	25.19
8	21.30	17.83	20.09	23.17	25.00	25.53	23.73	21.28
10	16.03	11.77	14.99	17.66	20.16	20.22	18.28	16.47
11	15.56	12.50	14.13	15.85	17.97	19.15	16.98	15.52

第15表 水 分

番 號	乾燥 時間 (h)	平均含水率 (%)	1 m ² 中の水分 含有量 (kg)	1 日中に於ける 蒸 發 量 (kg/m ²)	蒸 發 水分量 qv (g/m ² h)
No. I—24	0	28.51	175.051	29.902	37.38
	24	23.64	145.149	21.244	26.56
	48	20.18	123.905	9.640	12.05
	72	18.61	114.265	10.868	13.59
	96	16.84	103.397	29.533	36.92
	120	12.03	73.864	1.842	2.30
	144	11.73	72.022	—	—
No. I—23	0	43.48	266.967	20.078	25.10
	24	40.21	246.889	25.235	31.54
	48	36.10	221.654	31.069	38.84
	72	31.04	190.585	2.394	2.99
	96	30.65	188.191	7.917	9.89
	120	29.36	180.274	7.556	8.82
	144	28.13	172.718	23.087	28.86
	168	24.37	149.631	18.849	23.55
	192	21.30	130.782	31.990	20.00

驗 成 績 (ブナ60mm板) No. I—23

日	a'	温 度 (°C)		調 係 温 度 (%)	備 考
		乾 球	湿 球		
41.64	36.64	—	—	—	高壓の Steaming を以て開始し、中止後
39.51	31.73	50	48	89	50°C 48°C に保つ。
31.98	38.98	50	48	89	毎日一定時刻に高壓の Steaming を實施
25.82	19.95	50	47	85	す。
27.72	24.38	50	46	80	含水率25%附近に至りて毎日の Steaming
24.70	24.30	50	46	80	は中止せり。
22.64	22.85	50	45	75	
19.40	13.89	50	45	75	
18.40	16.68	55	50	76	
14.26	10.99	55	50	76	
14.49	13.43	55	50	76	

蒸 發 量 (ブナ60mm)

番 號	乾燥 時間 (h)	平均含水率 (%)	1 m ² 中の水分 含有量 (kg)	1 日中に於ける 蒸 發 量 (kg/m ²)	蒸 發 水分量 qv (g/m ² h)
	240	16.09	98.792	3.254	3.07
	260	15.56	95.538	—	—
No. I—22	0	101.48	623.087	70.917	88.64
	24	89.93	552.170	57.164	71.46
	48	80.62	495.006	34.752	43.44
	72	74.96	460.254	1.842	2.30
	96	74.66	458.412	56.304	35.19
	144	65.49	402.108	2.886	3.61
	168	65.02	399.222	57.470	71.84
	192	55.65	341.752	97.687	40.70
	264	39.75	244.065	3.755	2.35
	312	39.22	240.810	28.182	35.23
	336	34.63	212.628	9.885	12.36
	360	33.02	202.743	18.789	23.48
	384	29.96	183.954	20.569	25.71
	408	26.61	163.385	—	—

ii 水分蒸發量

方程式(1)により之等の結果から水分蒸發量 qv を比重 0.614 として計算すれば第15表の如くである。但し表中 qv は1日中に於ける蒸發量を 0.8 にて除したものである。

理由 厚さ60mmに對する表面積 $F = \frac{1}{0.06} \times 2 = 33\text{mm}$ である。故に1時間1mmに於ける蒸發量 ($\text{g}/\text{cm}^2\text{h}$) を求めるは1日中の蒸發量を $3\text{m} \times 24 = 0.800$ 即ち 0.8 に除すべきである。

iii 標準水分蒸發量

各種含水率に對する水分蒸發量 qv との關係を圖示すれば第17圖の如くて極めて實驗値は少いが、大體の傾向即ち含水率少なる間は極めて小なる數値であるが、含水率の増加と共に急激に増大し更に含水率の多くなるに従ひ増加の割合が稍低下すると云ふ傾向を窺知する事が出来るのである。之の變位點を何處にするかが問題であるが、之の圖より推して大體35%ととして大なる誤謬はないと思料せられる故、先づ35%以下に對する實驗式を求め、更に之に連結せしめて35%以上に對する實驗を求めた、含水率を x 、水分蒸發量を y とすれば何れも拋物線型なるを以て、 $y = ax^b$ として平均法により a, b の係數を求めて方程式を決定したるに次の如し。

$$x \leq 35\% \quad y = 0.2815x^{1.2315} \quad (13a)$$

$$x > 35\% \quad y = 22.4 + 1.16x^{0.763} \quad (13b)$$

之の式を圖示せる第17圖を觀るに之の式は實驗數値に對して適當なるものと思料せられるので、本式に於て表される各種含水率に對する水分蒸發量を 60mm 板に對する標準水分蒸發量 Q_v すとる。(第16表)

第16表

標準水分蒸發量

含水率 % (x)	標準水分蒸 發量 qv (y)	含水率 % (x)	標準水分蒸 發量 qv (y)	備 考
5.0	2.0	30.0	18.6	但し
7.5	3.4	35.0	22.4	$x \leq 35\%$
10.0	4.8	40.0	26.4	$y = 0.2815x^{1.2315}$
12.5	6.3	50.0	31.6	$x > 35\%$
15.0	7.9	60.0	35.9	$(y - 22.4) = 1.16$
17.5	9.6	70.0	39.9	$(x - 35)^{0.7632}$
20.0	11.3	80.0	43.6	
22.5	13.0	90.0	47.1	
25.0	14.8	—	—	

iv 標準乾燥速度

厚さ 25mm の場合に於けると同様の標準水分蒸發量 qv に 0.8 を乗じ、材積 1m^3 に對する1日中の蒸發量 ($\text{kg}/\text{m}^3\text{d}$) を計算し、毎日の含水率を算出して乾燥速度を求める事が出来る。

之の結果は第17表、第18圖の如くてある。

第17表

標準乾燥速度

含水率 (%)	1m^3 中の水分量 (kg)	水分蒸發量 (qv)	1日中に厚60mm材積 1m^3 中よりの水分蒸發量 $(qv \times 0.8) \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$
5.00	30.70		
5.26	32.30	2.0	1.60
5.55	34.10	2.2	1.80
5.87	36.02	2.4	1.92
6.19	38.02	2.5	2.00
6.54	40.18	2.7	2.16
6.92	42.50	2.9	2.32
7.34	45.06	3.2	2.56
7.78	47.78	3.4	2.72
8.25	50.66	3.6	2.88

8.75	53.70	3.8	3.04
9.28	56.98	4.1	3.28
9.85	60.50	4.4	3.52
10.46	64.26	4.7	3.76
11.13	68.34	5.1	4.08
11.84	72.74	5.5	4.40
12.82	77.46	5.9	4.72
13.48	82.74	6.6	5.28
14.39	88.34	7.0	5.60
15.63	94.42	7.6	6.08
16.45	101.05	8.3	6.64
17.62	108.18	8.9	7.12
18.88	115.94	9.7	7.76
20.25	124.34	10.5	8.40
21.75	133.54	11.5	9.20
23.37	143.54	12.5	10.00
25.14	154.42	13.6	10.88
27.09	166.34	14.9	11.92
29.24	179.54	16.5	13.20
31.56	194.02	18.1	14.48
34.18	209.86	19.8	15.84
37.03	227.38	21.9	17.52
40.17	246.66	24.1	19.28
43.61	267.78	26.4	21.12
47.35	290.74	28.7	22.96
51.31	315.05	30.4	24.32
55.51	340.82	32.2	25.76
59.93	368.02	34.0	27.20
64.60	396.66	35.8	28.64
69.52	426.90	37.8	30.24
74.70	458.66	39.7	31.76
80.13	492.02	41.7	33.36
85.81	526.90	43.6	34.88
91.75	563.38	45.6	36.48
97.95	601.46	47.6	38.08
104.44	641.30	49.8	39.84

第18表 外殻部含水率及平衡含水率

含 水 率 (%)	外殻部含水率 (%)	中心部含水率 (%)	外殻部含水率を 平衡とする關係 温 度 % (°C)	備 考
55.5				第10表に於けると同様
51.3	27.0	71.0	100	
47.3	25.4	65.0	97	
43.6	23.5	58.3	96	
40.2	21.6	54.5	93	
37.0	20.5	51.0	92	
34.2	18.3	47.0	88	
31.6	17.0	42.0	86	
29.2	16.0	40.5	84	
27.1	15.0	37.0	81	
25.1	14.2	33.2	79	
23.4	13.2	31.0	75	
21.8	12.0	28.2	72	
20.3	11.0	26.0	67	
18.9	10.5	25.0	63	
17.6	9.5	22.0	60	
16.5	9.0	20.0	56	
15.6	8.7	19.0	53	
14.4	8.2	18.0	51	
13.5	8.0	17.0	49	
12.8	7.3	16.0	45	
11.8	6.5	14.0	40	
11.1	6.2	13.0	38	
10.5	6.0	12.0	35	
9.9	5.6	11.5	32	
9.3	5.4	10.6	31	
8.8	5.2	10.2	29	
8.3	4.8	9.5	27	
7.8	4.5	9.0	25	
7.3	4.1	8.5	23	
6.9	3.8	8.0	20	
6.5	3.5	7.5	19	
6.2	3.2	7.3	17	
5.9	3.0	7.0	16	
5.6	2.8	6.6	15	
5.3	2.7	6.2	14	
5.0	2.6	5.9	13	

v 乾燥基準の決定

厚さ 60 mm 板に對する水分傾斜を求るに第18表第17圖の如くてあつて平均含水率50%に對しては外殼の含水率は纖維飽和點で之れ以上の含水率に對する水分傾斜は外殼を纖維飽和點以上に維持すれば良い事明らかである。即ち外殼部の含水率に對する平衡溫度も同表の如くして、之の平衡溫度より關係溫度を如何程低下せしむべきやが問題となる。

溫度は厚さ 25mm の場合の如く 60℃ に保つ事は表面の乾燥に伴ひ中心部の水分を外殼へ移行せしむるに困難を伴ひ、延いては表面割れの現象を生じ易き爲に 50℃ に保つ事とせり。

實驗結果によるに生材等の如く含水率の多き間に於ては關係溫度を90%として含水率45%程度迄進行せしめ30%に至りて80%とし、更に20%程度にて75%を維持したるに乾燥行程殆んど進歩せず、20%以下の含水率に對する關係溫度は實驗の不足に依り之を見出す事の出来ぬは甚だ遺憾とする處であるが、Moll⁽⁹⁾ Kollmann⁽⁶⁾ Henderson⁽³⁾、松本諸氏の文献より含水率10%に對しては40%を維持すべきものと思料し、外殼部に對する平衡溫度を考慮して關係溫度を求むるに第18圖の如きが適當なるものと思料し、茲に於てブナ 60mm 板に對する Schedule は第19表第18圖の如きものを以て適當とするのである。尙各種含水率より含水率5%及10%に乾燥するに要する日數をも附記した。

第19表 乾燥基準表 (ブナ60mm板)

含水率 (%)	溫 度 (°C)		關 係 溫 度 (%)	含水率5%迄 に減少するに 要する日數	含水率10%迄 に減少するに 要する日數	備 考
	乾 球	濕 球				
80	50	48.0	90	41	29	含水率50%以上 に於ては特に高
75	50	48.0	90	40	29	

70	50	48.0	90	39	27	溫の Steaming を用ひて水分を 減少せしめ、表 面のみの溫度乾 燥を防ぐ爲弱壓 の Steaming を 用ふる事。
65	50	48.0	90	38	26	
60	50	48.0	90	37	25	
55	50	48.0	90	36	24	
50	50	48.0	90	35	23	
45	50	48.0	90	34	22	
40	50	47.0	85	32	20	
35	50	46.4	82	31	19	
30	50	45.5	78	29	17	
25	52	46.0	72	26	14	
20	53	45.0	62	23	11	
15	54	42.0	50	19	7	
10	55	40.0	40	12	0	
5	55	36.0	30	0	—	

以上厚さ 25mm 60mm 板に關する最も適當なりと思料されたる基準表を作製したのであるが、次に厚さに關する影響に就き記述し、ブナ材の人工乾燥の操作に關して實務上参考となる事項を附記する。

2. 厚さに關する影響に就いて

厚さに對する影響に就いては既に述べたる如、Egner⁽¹⁾、Moll⁽⁹⁾ Kollmann⁽⁶⁾ 等に依り實驗され最も實用的結果としては厚さの比の1.5乗に比例して乾燥時間は増加するものとされ、松本氏に依れば減壓乾燥に於ては乾燥の初期に木材内部を高溫度とし外層の水分粘着力(凝着力)が著しく増加する迄に、比較的少量の水分を表面に移動せしめ得る爲に、厚さの増加に依る乾燥時間の増加率は他の乾燥に比して著しく少く、同氏の實驗結果に依れば乾燥時間は厚さの増加の割合よりも減少してゐる。

今本實驗結果に就き考察するに25mm 及 60mm 板に於て生材より最も實用的の乾燥程度たる含水率10%迄に乾燥するに要する日數を比較するに第20表の如くて 60mm 板は 25mm 板に對して生材の場合

は 2.07 倍、15%程度よりの場合は 3.5 倍を要するのである。

第20表 25.60mm 板の乾燥日数比較表

含 水 率 (%)	含水率10%迄に減少するに要する日数		比 (60 mm / 25 mm)
	25mm	60mm	
80	14	29	2.07
75	13	28	2.15
70	12	27	2.25
65	—	26	—
60	11	25	2.27
55	10	24	2.40
50	9	23	2.55
45	—	22	—
40	8	20	2.50
35	7	19	2.71
30	6	17	2.83
25	5	14	2.80
20	3	11	3.66
15	2	7	3.50
10	0	0	—

然るに今前述の如く厚さの 1.5 乗に比例して乾燥時間が増加するものとすれば

$$\frac{Z_2}{Z_1} = \left(\frac{d_2}{d_1}\right)^{1.5} = 3.7$$

で約 3.7 倍を要する。即ち例へば含水率 50% より 10% 迄に乾燥するに要する日数を比較するに上記結果に依れば 2.55 倍なるに對して一般には 3.7 倍を要するとされ、含水率の大なる程速度の差異は少く、特に 70% 以上に於ては同じ含水率だけ乾燥してゐる事を知るのである。含水率が同率だけ減少する爲には厚板は薄板に比して厚さの比だけ多くの水分量を蒸發しなければならない。即ち標準水分蒸發量が厚さの比になれば斯の如くになり得るのである。

然らば之の標準水分蒸發量は、厚さの比に應じて大きくなり得る

か？ 即ち厚さに關係なく同水率が全率だけ減少し得るであらうか？

含水率の大なる間の水分の移動は温度を高く保ち、内部壓力を増加せしめ水分結合力を低下せしめるならば厚さに殆んど關係なく含水率即ち水分と細胞膜との運動性に關係するを以て、厚きものは多少それに時間を要するが同率の含水率を減少し得るからである。

之の事は後述するナラの實驗結果の示す處である。從つて特に此の點に留意し、水分の多き間に於て速かに乾燥する如く操作すれば斯の如き厚さの割合に比して乾燥時間を短縮し得るものである。

3. 人工乾燥に於て生じ易き缺點及操作上の注意に就て

ブナ材の人工乾燥を實施するに當つて著者の經驗したる最も生じ易き缺點及之に對する救済法を記述し且失敗せる結果及操作上の注意等を茲に紹介して斯業の參考に供せんとするものである。

a 表面硬化及表面割れ

ブナ材の 25mm 板等の如く比較的薄き板に在りては乾燥經過は急激になり勝ちにして弱度の表面硬化を生ずる事勿論なれども常に其の程度に就き注意を促し、更に進みて強度に至らざる様、亦表面割れの生ぜざる様にしなければならぬ。然し實務としては斯る状態迄に常に深甚の注意を拂ふ事は安易なる事ではない。

乾燥の經驗未だ淺き時に於ては弱度の表面硬化は勿論、強度の表面硬化を生じて表面割れの現象が來たさなかつた爲損傷が否か不明にして乾燥操作の終了後初めて強度の表面硬化を生じたるに氣付き次回より毎日一定時刻に 30 分～1 時間の弱壓の蒸氣を噴霧せしめて濕氣を與へ表面に多少吸濕せしめて内部との水分の連繫を常に維持せしめる爲に、表面硬化は殆んど生ぜず良好なる結果を得る事が出來た。

ブナ材の厚板乾燥に當りては弱度の表面硬化は生ずるも、強度の

表面硬化を生ずる以前に表面割れを生ずる事多く、特に操作上の不注意の爲指定の關係濕度に維持しなかつた場合に於て度々生ずるものである。例へば平均含水率25%程度の場合に於て關係濕度70% (50°C) を維持しなければならないのに夜間等に於ける不注意の爲50~40%に數時間放置したるが如き場合に於ては必ず翌朝表面割れを生ずるのである。

従つて之れ等を防止するには内部の水分を速かに表面へ移動せしめる爲、溫度は成る可く高く、濕度も高く保ち表面よりの蒸發を抑制して内部の水分を外部へ擴散せしめる爲 Steaming を時々實施すれば適策と思料されるのである。關係濕度が甚だしく豫定より低下せる状態が1~3時間程度ならば表面割れの現象は餘り發起されなかつたが4~5時間も経續したる時には此の現象を生ずるものである。

關係濕度の維持は含水率の低下につれて弱度の生蒸氣噴出に因つて行つて居るが、之の際弁を適度に開けて一定濕度を維持せるも、汽罐の壓力が常壓より低下すれば弁を同じ開閉度に保つも壓力が減せる爲、噴出蒸氣量が少量となつて、斯様に關係濕度低下せしめるものなれば、常に常壓を保つ様注意を要するものである。

b 關係濕度の調節操作

人工乾燥室に於ける關係濕度の調節には自動調節器の高級なる裝置もあるが之を設備せる工場は極めて少く、多くは生蒸氣を弁の開閉度に因つて噴霧せしめ、その量の多寡に因て行つてゐる。然るに開閉度に依つて行ふ時は、如何程の蒸氣量が噴霧されて居るかを知る事が出來ず、従つて安易にその量を一定にする事が出來ない。故に生蒸氣用鐵管に30封度以下の小さな壓力計を設へ付け、その gauge の指示を一定に保つ如く弁を開閉すれば大體一定濕度を維持する事が出來る。然れ共汽罐の壓力に變動を來せば勿論變動し度々

危險を及ぼすが故に汽罐の壓力は常に一定の常用壓力を保たせることが必要である。

c 溫度計に因る乾燥進行状態の看破

乾燥室内の木材乾燥進行状況は中央部と側面部との乾球、濕球の溫度差を比較する事に因て安易に推定する事が出来る。即ち放熱器を通過して溫度上昇し、濕度低下したる空氣即ち乾濕球の溫度差の大なる空氣が乾燥すべき材の間を通過すれば吸濕して溫度は低下し關係濕度は高く即ち乾濕球の溫度差が非常に少くなる事勿論である。従つて之の兩位置に於ける乾濕球の溫度差に相違ある間は迅速に乾燥が進行されて居る事を示し、相違なきに至れば乾燥が進行されずに即ち室内空氣の濕度と木材外殼部との水分とが略々平衡に到達せるものと見做されるが故に、斯の如き場合には空氣の關係濕度を低下せしむるを要するものである。斯の如く乾、濕球の溫度計を中央部及側面部に懸吊する事に因てその乾燥の進行状況を察する事が出来るのである。

d 含水率に應ずる關係濕度の維持

乾燥に關する經驗の少き間は損傷を與へざる様に操作する爲、過分の關係濕度に維持し勝ちである。而して實際に於ける他工場の様子を見るに數日間も生蒸氣を噴出せしめたり、亦40%程度に乾燥せる天然乾燥材に對して關係濕度80%を維持するが如き操作は過分に吸濕せしめ、却て乾燥室内に於て相當の吸濕を示すが如き現象を呈するが故に、前記の圖表より含水率に相應する關係濕度を求め、之を維持する如く操作すれば充分である。

當場に於て經驗回數の少なる當時に於ては3~4回、斯様な現象を経験したる故特に之の項を附記するものである。

4. 摘 要

本項ブナ材の人工乾燥に關する實驗結果を基礎として最も適切な

る乾燥基準表を製作したものである、即ち 25mm板 及 60mm板に就て實施したる實驗結果より標準水分蒸發量 Q_v (gr/cm²h) を求め、之を基礎として含水率 5% より逐次標準水分減少量即ち乾燥速度を算定し、各含水率に對する水分傾斜を求め(松本氏の實驗結果より)、その外殼部の含水率に對して平衡を保つ可き關係濕度を求め、之より實驗結果と對照して最も適當なる關係濕度を見出し 25mm 及 60mm板に對する基準表を作製したものである。(第15圖、第18圖)

尙實際的操作に關して得たる體驗より多少參考になる事項を附記した。

B ナラ材の部

從來ナラ材の乾燥特に厚板の生材よりの乾燥は極めて至難と見做され、通常天然乾燥に因り含水率を可成、低下せしめて後、人工乾燥に附せられて居た爲、經濟的に相當な損失を餘儀なくされ、然も天然乾燥中に於てもナラ厚板は相當の表面割れを生ずるのであるから之が生材よりの、特に厚板に對する乾燥法の研究を必要とするものである。

當場に於ては本試驗開始以來未だ日尙淺く含水率 20—10% 程度に迄乾燥したる事なく極めて未完成なるも、ナラ厚板乾燥の至難も體得し種々試驗の結果ナラ厚板(60mm)を生材より直ちに人工乾燥に附して含水率 20% 程度に迄乾燥し得る自信を得たるにより、天然乾燥を如何にしても必要とすると定評ある折、生材より含水率 20% 程度に迄乾燥し得る方法を發表するは徒勞に歸さないものと思料し未完成をも顧ず茲にその一部を發表するのである。

先づ實驗結果の概要を記述し、然る後基準表に及ぶこととする。

1. ナラ生材の Steaming に對する性質に就て

a 内部温度の上昇速度

生材よりの乾燥には特に Steaming を必要とするのであるが、ナ

ラ生材を Steaming せる場合の温度上昇速度を明かにするため各種厚さ 25mm (1"), 38mm (1 1/2"), 51mm (2"), 64mm (2 1/2"), 76mm (3") で含水率何れも 72—85% の供試材に就き熱電對を木口より中央部迄押入して密閉せる装置内にて飽和蒸氣を以て内部温度の上昇を測定したるに第19圖に示す如くて、之を他の樹種例へばアカダモに比較するに殆んど差異を認める事は出来ない。生材等の如き特に含水率の多き材を乾燥するに於ては Steaming による効果大なるが故に、之が効果を適切に利用する如く操作するを要するが所要の Steaming 終了後、室内の冷却するに従ひ、木材内部の温度も亦冷却するのであるが、之が冷却の経過を測定せるに第20圖の如て、之に因て Steaming 終了後の時間の経過に伴ふ、木材内部温度の状態を察知する事が出来、爾後の乾燥室内の温度調節に對する操作に一指針を與へるものであらう。

b 温度上昇による水分の移動法

木材内部の温度が上昇すれば、その含水率に因て異にするが内部壓力を生じて水分を移動せしめ、木材含水量を減少せしめるものである。之等は内部壓力が水分の木材に對する粘着力に打勝つて移動するによるものであるが、之の移動量の多寡は乾燥難易の一因子たるものと思料せられ、之に對する實驗を試みた、即ち密閉せる容器を 100°, 90°, 80°, 70°, 60° 及 50°C の飽和狀態に維持し、含水率 70—75 の材料より、長さ幅共 8 cm にして厚さ 2, 3 及 4 cm の供試片を採り秤量後之を前記装置内の飽和蒸氣中にて内部温度が上昇する迄放置し、更に之を飽和せる容器内にて重量の減少しなくなる迄冷却放置して秤量し、之の二回の秤量により各温度に對する重量の變動を検したるに第21表、第21圖の如くて之をアカダモに比較するも却てその移動性大なるものゝ様である。而して厚さ 2 cm に於ける結果も 3 cm の結果も殆んど同様にして却て温度 80°C 以下に於ては 3 cm

第21表 ナラ材の温度上昇に因る水分減少量

厚さ	温度	番 號	2cm			3cm			4cm		
			處理前 含水率 (%)	處理後 含水率 (%)	減 少 含水率 (%)	處理前 含水率 (%)	處理後 含水率 (%)	減 少 含水率 (%)	處理前 含水率 (%)	處理後 含水率 (%)	減 少 含水率 (%)
100°C		1	75.11	68.69	6.42	73.95	70.30	3.63	76.87	73.36	3.61
		2	75.12	68.16	6.96	75.27	70.28	4.99	69.04	66.61	2.43
		3	74.16	63.57	10.59	74.97	72.23	2.74	76.19	72.56	3.63
		4	—	—	—	69.43	67.32	1.61	71.79	68.56	3.28
		平均			7.99			3.01			2.98
90°C		1	72.50	69.00	3.50	76.91	73.38	3.53			
		2	68.57	65.31	2.59	75.51	70.01	5.50			
		3	—	—	—	76.19	72.77	3.42			
		平均			3.05			4.15			
80°C		1	71.77	69.26	2.51	77.94	75.04	2.90	69.84	69.46	0.38
		2	71.60	68.03	3.00	76.12	73.05	3.07	73.22	71.64	1.58
		3	73.39	69.48	3.40	75.52	73.09	2.43	—	—	—
		平均			2.97			2.83			0.98
70°C		1	70.30	69.66	0.64	77.97	73.85	4.12			
		2	76.30	74.15	2.15	78.65	74.47	4.18			
		3	73.55	72.78	0.77	76.51	73.52	2.99			
		4	74.38	72.19	2.22	—	—	—			
		平均			1.45			3.76			
60°C		1	71.61	70.18	1.43	72.83	71.80	1.03			
		2	74.30	71.55	2.75	75.37	73.21	2.16			
		3	75.50	73.57	1.93	74.48	73.45	1.03			
		4	—	—	—	76.19	73.99	2.20			
		平均			2.03			1.70			
50°C		1	69.72	69.57	0.13	73.86	74.21	0.32			
		2	70.02	70.38	0.36	71.82	71.61	0.21			
		3	—	—	—	77.76	77.02	0.74			
		4	—	—	—	72.92	71.76	1.16			
		平均			0.12			0.45			

の方の水分移動量大となつた。即ち温度上昇に因る水分の移動は温度には関係すれども厚さには殆んど関係なきものの如し。蓋し之の水分の移動は温度上昇による内部壓力の増加並に水分粘着力低下の結果生ずるものであるから、厚さ等には殆んど関係なく、之等の移動を生ぜしめる内力と、之に對する抵抗との間に平衡關係の生ずる迄移動するもので唯厚きものは移動に時間を要するのみにて、その移動量は厚さより寧ろ含水率、温度に關係するものであらう。

従つて生材の如き含水量の大なる材、特に厚板の乾燥に際しては當初に於て温度の上昇による水分の移動性を利用するものである。

C 温度上昇による水分分布の變化

上記 a, b の兩實驗に因て Steaming を行へる時のナラ生材の水分移動は大體窮知する事が出来るが、實際に實驗乾燥室内に於て Steaming を行へる時の結果に就き述べる。25mm 及 60mm 板に就き室内温度約 100°C になる如く Steaming を行へるにその實施時間とその水分分布の變化とは第22圖の如くである。即ち 25mm 板にして含水率80~90%の材は2時間にして大體10%の減少を見るべく、60mm 板にては含水率75~90%のものは3時間にて7~9%の減少を見るのである。本實驗に於ても (b) と同様の厚板にありては Steaming に時間を要すれどもその水分分布の變化量は殆んど差異なきを認めたのである。

以上木材内部温度の上昇經過及含水量多き場合に於ける温度上昇による水分の移動等に關するナラ材の性質はアカダモに於ける結果と何等異なる點を見出す事は出来なかつた。従つて之等に關してはナラ生材よりの乾燥は決して至難のものでないと言ひ得るのである。然るに従來極めて至難なりとされて居るのは之れ以外の性質例へば含水率の低下に伴ふ水分の移動性が極めて困難なるものと推定される。

著者の實驗に因るも温度 50°C 關係湿度50%に於ける水分の移動量はナラはブナの約半分である。即ちナラは含水率の低下に伴ひ非常に移動が困難となる、特に表面に於て移動が停止し遂に表面割れの現象を來すのである。

2. 木材内部水分の移動に就て

厚板の生材よりの乾燥に關しては含水率の多き間は Steaming の効果を利用するを適當と認めて之を實施すれば成果は良好であつても表面のみが乾燥過度に陥り（操作も不充分と思料されるが）纖維飽和點以下に到達し、水分の連絡が絶たれ、一週間を経過するも中心部の水分の移動は殆んど認められず、遂に表面割れを生じて失敗に歸したる場合が多い、従つて之が爲表面よりの蒸發は可及的抑制して内部の水分を移動せしむるを要するが、之が爲には如何なる操作を適當とするやに就き攻究を試みた、茲に之が原因を記述し之れに對する對策を記述する。

a 内部水分移動停止の原因

含水率多き材の乾燥には Steaming を先づ實施し内部溫度を速に上昇せしめて水分粘着力を低下せしめ内部壓力の増加に因り水分の移動を安易ならしめるのであるが Steaming を實施すれば高溫度の飽和蒸氣は木材の表面に接觸し凝結するが、時間の経過と共に表面溫度は上昇し、遂に蒸氣と木材表面との溫度差なきに至り、凝結も生じなくなる。此の場合に於て木材表面の最外層の細胞内の水分はその時の溫度 $t^{\circ}\text{C}$ （殆んど 100°C に近き程度）に對する蒸氣壓 P_t でもつて蒸發せんとしてゐるが、乾燥室内は既に飽和蒸氣にて充滿されてゐる爲、蒸發作用を一時停止せる状態となつて居るのである。之れが Steaming 實施中の状態である。然るに Steaming を停止すれば、先づ、室内の溫度 ($T^{\circ}\text{C}$) が、漸次時間の経過と共に低下し木材表面の溫度 (t°) も亦低下するが、木材表面に於ける溫度低下の速度

は前者のそれより遙かに遲鈍である。従つて木材表面に於ては常に之等の兩者の溫度に對する蒸氣壓 (P_t, P_r) の差即ち蒸氣壓降差 ($P_t - P_r$) に因て蒸發作用が惹起され、木材溫度と室内空氣溫度との差が大なればなる程、蒸發の現象が續行されるのである。加之、之の乾燥室の溫度降下は特に最初の間（10分位）可成り急速であるばかりでなく室内は常に飽和状態でなく、關係湿度も低下せるが故に蒸氣壓降差は大きく、従つて表面に於ける蒸發が急速に行はれるのである。

之の表面に於ける蒸發量に伴ひ内部の水分が散擴にて移動して來る場合は内部の水分も連續に減少するのであるが、ナラ材の如く特に擴散に因る移動の少なる材に於ては、表面に於ける蒸發量に伴つて移動しない爲に水分の連絡が斷たれ、遂に内部の水分の移動が停止し、一種の固定状態を生ずるに至るものである。

b 之に對する對策法

内部水分の移動が停止する原因は上記の如く蒸氣壓降差 ($P_t - P_r$) による過度の表面蒸發なるために、之を防止するには室内溫度を急激に冷却せず、室内關係湿度を低下しない様にするを要するのである。之が爲には所定の Steaming 終了後、弱度の噴霧に因り溫度及濕度の維持を適當にし、木材表面溫度と室内溫度との差を常に僅少にする如く操作すれば良いのである。従つて噴霧蒸氣用の鐵管に壓力計を具備し、その指針に因る室内溫度を豫め測定しておけば極めて便利である。

參考に當場に於ける噴霧蒸氣に因る室内溫度の測定圖を掲ぐ。
(第23圖)

c 中間 Steaming の應用に就て

ナラ生材よりの乾燥には特に表面よりの蒸發を避けて内部よりの水分移動を増加せしめる爲に、高溫度の飽和蒸氣にて噴霧せしめて

も最初の内ハ内部壓力の増加、水分粘着力の低下等の爲に水分を減少するも時間の経過に伴ひ、内部壓力に因る移動力と之れに對抗する水分粘着力とが平衡の状態に到達して、水分の移動を停止するに至るものであるから、それ以上は高温の Steaming を用ふるも何等効果無きに至るのである。亦弱壓の蒸氣を噴霧せしめて温度 45°C に保ち、常に飽和に近き状態に維持するも表面よりの蒸發は僅少であつて表面割れの危険はなきも、水分の移動が停止するに至る。

従つて斯様な状態に於て毎日一回宛高温度の Steaming を實施して内部温度を上昇せしむれば (95°C) 内部よりの移動は容易なるもので、乾燥経過を速進せしめるものと思料せらる。

茲に之を證明する實驗結果を掲げる。

方 法 豫め含水率を測定したるナラ生材を實驗乾燥室内に入れ、常に弱壓蒸氣の噴霧に因て乾球 45°C、濕球 43°C (89%) に維持し、一週間毎日小片を切斷して水分分布状態を検した。

次に毎日一定時刻に 40lb の高壓にて 1 時間 30 分噴霧せしめる操作を加へ前同同様毎日水分分布状態を検した。

結 果 之等兩回の水分分布状態の變化は第 24 圖の如くであつて、明かに毎日中間 Steaming (高温度) を實施せる方法が結果良好なる事を認めた。

即ち中間 Steaming を利用する事に因りナラ材の厚板生材の水分を移動せしめ得る事に確信を得た。

以上の如くナラ材の乾燥上の特異性に對する實驗を試み、ナラでも生材より直ちに乾燥をなし得る可能性を認めたるに因り、實驗乾燥室内にて厚さ 60mm、80% 程度の生材を直ちに人工乾燥に附したるに含水率 20% 程度迄には好成績を收め得たるを以て次のその結果を記述する。

3. 厚さ 60mm 板の生材よりの乾燥基準に就て

i 比 重

比重は厚さと共に乾燥に關係する因子の一なるを以て測定を必要とする。乾燥實驗に供したる資材の間から 22 個を選び絶對乾燥となしたる後、容積を水中に沈めて測定して、求めたるに第 22 表の如く 0.658 を得た。

第 22 表 ナラ材比重測定表

番 號	絶對乾燥の 重 (gr)	容 積 (cm ³)	比 重 (gr/cm ³)	年 輪 數 (n)	長 さ (l)	平均年輪幅 (l/n) mm
1	59.00	85.60	0.689	27	4.345	0.16
2	56.95	86.50	0.658	22	4.180	0.19
3	56.60	87.00	0.651	24	4.350	0.18
4	56.65	87.00	0.652	24	4.275	0.18
5	57.00	87.50	0.652	23	4.100	0.18
6	56.50	86.30	0.654	24	4.265	0.18
7	57.50	87.10	0.661	24	4.215	0.18
8	57.50	86.50	0.665	23	4.095	0.18
9	59.70	85.50	0.699	26	4.160	0.16
10	60.30	88.50	0.682	25	4.050	0.16
11	59.35	87.80	0.677	20	4.215	0.21
12	56.35	87.60	0.643	30	4.280	0.14
13	57.35	86.50	0.664	21	4.020	0.19
14	56.80	86.50	0.657	22	3.870	0.18
15	56.20	86.60	0.649	23	4.015	0.17
16	59.50	87.00	0.684	21	4.265	0.20
17	55.25	87.30	0.634	33	4.345	0.13
18	55.25	87.50	0.631	25	4.480	0.18
19	56.85	87.00	0.655	24	4.225	0.18
20	56.00	86.60	0.647	31	4.190	0.14
21	55.80	88.00	0.635	27	4.110	0.15
22	55.85	86.00	0.649	22	4.000	0.18
平 均	.		0.658			

ii 乾燥試験成績

厚さ 60 mm の板に就て生材より含水率20%程度に乾燥した回数3回ではあるが、前記の失敗を爲さずに良成績にて乾燥し得たものであるから、生材より含水率20%程度迄の Schedule の決定には充分なるものと思料せられ。之等の結果を基礎として Schedule を決定する。

之の乾燥成績は第23—25表の如くである。

第23表 乾燥試験成績 (ナラ60mm板)

乾燥 日数	平均 含水率 (%)	含水率 (%)		温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
		1	2	乾 球	湿 球		
0	73.60	70.60	70.60	45	43	89	高壓弱壓の Steaming を
1	65.48	66.37	64.60	45	43	89	交互に實施し特に表面割

第24表 乾燥 實

乾燥 日 数	平均 含水率 (%)	水分 分 布 状 態 (%)						
		a	b	c	d	e	d'	e'
0	80.81	76.21	80.49	81.60	82.34	82.16	82.82	82.14
1	69.91	43.65	73.54	81.85	82.82	83.14	79.90	76.03
2	65.61	36.93	61.20	77.63	79.35	80.26	80.77	77.26
3	61.69	31.23	56.95	76.82	70.99	81.90	77.71	72.78
4	60.75	32.41	54.06	74.59	76.50	73.41	74.37	70.50
5	55.25	36.30	45.44	58.60	69.10	69.59	71.24	64.95
6	51.59	27.53	42.90	51.73	62.51	68.41	70.44	58.45
7	48.99	30.37	43.25	51.62	63.32	65.14	62.30	51.93
8	45.58	25.78	42.72	51.02	57.98	61.06	57.51	49.20
9	43.58	29.88	40.90	44.62	49.00	54.32	56.23	51.01
10	42.84	27.96	41.77	45.99	53.11	57.83	52.65	44.12

驗 成 績 (ナラ60mm板) No. 11—4

1/	a'	温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
		乾 球	湿 球		
81.48	78.04	45	44	95	40lb にて Steaming 實施、1時間休
66.26	41.99	45	44	95	止、再び2時間實施し、再後弱壓の
61.98	35.08	45	43	89	Steaming を繼續實施した、特に高壓
55.16	31.65	45	43	89	Steaming の後、空氣と木材表面との
55.20	35.73	45	43	89	温度差を生ぜぬ様、漸次低壓 Steaming
48.26	33.80	45	43	89	を實施せしに、極めて良好なる結果を
48.00	34.33	45	43	89	得られた。
43.89	29.05	45	43	89	
40.42	24.49	45	43	89	
44.06	22.17	45	43	89	
37.11	25.03	45	43	89	

第25表 乾燥實

乾燥日数	平均含水率 (%)	水分分布状態 (%)						
		a	b	c	d	e	d'	e'
0	41.0	29.15	38.17	42.53	45.82	51.25	53.28	43.78
1	36.1	19.12	34.96	39.48	43.03	49.28	44.39	40.23
2	35.7	18.14	32.81	38.80	42.54	48.99	45.11	40.82
3	35.1	22.89	32.39	38.01	41.74	48.20	41.81	38.57
4	34.4	18.11	32.57	32.85	42.34	47.27	42.01	38.42
5	33.2	17.06	26.44	38.56	42.28	47.42	41.19	37.08
6	30.2	15.97	23.15	35.72	38.67	41.99	40.75	36.07
7	29.5	15.16	27.80	32.87	37.57	41.67	38.60	33.06
8	28.1	13.74	23.06	31.71	35.06	40.65	37.97	33.18
9	25.8	12.27	21.33	29.87	33.79	37.58	34.08	29.75

iii 水分蒸發量

方程式により之等の結果より水分蒸發量 q_v を比重 0.658 として
 プナ材の部に於けると全く同様に計算すれば第26表の如くである。

第26表 水分蒸發量 (ナラ60mm)

番 號	乾燥時間 (h)	平均含水率 (%)	1m ³ 中の水分 含有量 (kg)	1日中に於ける 蒸發量 (kg/m ³)	蒸發水分量 q_v (g/m ² -h)
No. 8	0	70.60	464.55	33.70	42.1
	24	65.48	430.85	27.50	34.4
	48	61.30	403.35	32.90	41.1
	72	56.30	370.45	25.00	31.3
	96	52.50	345.45	14.68	18.4
	120	50.27	330.77	20.85	26.1
	144	47.10	309.92	11.45	14.3
	168	45.36	298.47	11.19	14.0
	192	43.66	287.28	16.38	20.5
	216	41.17	270.90	24.48	30.6
	240	37.45	246.42	10.99	13.7
	264	35.78	235.43	21.51	26.9

驗 成 績 (ナラ60mm板) No. 11—9

b'	a'	温度 (°C)		關係 温度 (%)	備 考
		乾球	湿球		
37.81	26.71	45	43	89	本實驗は從來含水率40%以上に於ては 表面割れを極めて生じ易く、失敗した るが故に恒温、恒湿器中にて、關係温 度90%附近に維持し、試驗したるに、 含水率の減少極めて遅々たるものにし て80%にても充分に進行し得る事を認 め得たるものなり、弱壓の Steaming は毎日一定時刻に實施した。
33.51	20.78	45	43	89	
33.56	20.55	45	43	89	
32.33	20.16	45	43	89	
31.16	19.78	45	40	74	
30.20	17.42	45	40	74	
25.52	14.32	45	40	74	
24.93	13.73	45	40	74	
23.96	13.14	45	40	74	
21.22	12.49	45	40	74	

番 號	乾燥時間 (h)	平均含水率 (%)	1m ³ 中の水分 含有量 (kg)	1日中に於ける 蒸發量 (kg/m ³)	蒸發水分量 q_v (g/m ² -h)
	288	32.51	213.92	9.74	12.2
	312	31.03	204.18	6.06	7.6
	336	30.11	198.12	31.84	19.9
	384	25.27	166.28	—	—
No. 4	0	80.81	531.73	71.73	89.7
	24	69.91	460.00	28.29	35.4
	48	65.61	431.71	25.79	32.2
	72	61.69	405.92	6.18	7.7
	96	60.75	399.74	36.19	45.2
	120	55.25	363.55	24.09	30.1
	144	51.59	339.46	17.11	21.4
	168	48.99	322.35	23.15	28.9
	192	45.58	299.20	12.44	15.6
	216	43.58	286.76	4.87	6.1
	240	42.84	281.89	—	—
	0	41.00	269.78	32.24	40.3
	24	36.10	237.54	2.63	3.3

No. 9	48	35.70	234.91	3.95	4.9
	72	35.10	230.96	4.61	5.8
	96	34.40	226.35	7.89	9.9
	120	33.20	218.46	19.48	24.4
	144	30.20	198.98	4.87	6.1
	168	29.50	194.11	9.21	11.5
	192	28.10	184.90	15.14	18.9
	216	25.80	169.76	—	—

iv 標準水分蒸發量

含水率 (x) と水分蒸發量 (y) との關係を圖示すれば第25圖の如く、その實驗數値に可成り偏差はあるが、qv は含水率の増加と共に増加するものであると云ふ傾向を充分に窺知する事が出来る。即ち之等の間には拋物線 $y=ax^b$ なる關係があるものと思料し平均法により a b の値を求めて方程式を求めた。

$$y = 0.189 x^{1.245} \quad (14)$$

之の拋物線は即ち標準水分蒸發量曲線であつて實驗數値の概要を表示してゐるものである。

25%以下の實驗數値は皆無なるため之の曲線にて求められたる數値が、標準水分蒸發量 Qv なりとするは眞に當を得たるものなりやとの疑問の餘地は在るも、此の曲線にて求められたる數値を以て含水率25%以下に於ける標準水分蒸發量とする事を特に附記しておく。(第27表)

第27表 標準水分蒸發量

含水率 % (x)	標準水分蒸 發量 qv (y)	含水率 % (x)	標準水分蒸 發量 qv (y)	備 考
5.0	1.4	30.0	13.0	但し $y = 0.189 x^{1.245}$
7.5	2.3	35.0	15.8	

10.0	3.3	4.00	18.7
12.5	4.4	4.50	21.6
15.0	5.5	50.0	24.7
17.5	6.7	55.0	27.7
20.0	7.9	60.0	30.9
22.5	9.1	70.0	37.5
25.0	10.4	80.0	44.2

v 標準乾燥速度

ブナの部に於けると同様標準水分蒸發量 Qv に 0.8 を乗じ、材積 1m³ に對する 1 日中の蒸發量 (kg/m³q) を計算し、日々の含水率を算出して乾燥速度を求めれば第28表第26圖の如くである。

vi 乾燥基準の決定

ナラ材の乾燥に必要な水分傾斜は、他の比較的安易なる潤葉樹材に比して緩慢にすべきであると思料せられるが、特にナラ材に對する標準水分傾斜も決定されてゐないが、松本氏に因れば何れの木材に於ても略々近似的であるので、松本氏の求められたる水分傾斜

第28表 標準乾燥速度

含水率 (%)	1m ³ 中の水分量 (kg)	水分蒸發量 (qv)	1日中に厚さ 60mm 材積 1m ³ 中よりの 水分蒸發量 (qv×0.8) kg/m ³
5.0	32.90	—	—
6.7	44.10	1.4×10	11.20
8.2	54.10	2.0×5	10.00
10.2	67.10	2.6×5	13.00
10.6	69.82	3.4	2.72
11.0	72.70	3.6	2.88
11.5	75.74	3.8	3.04
12.0	78.94	4.0	3.20
12.5	82.38	4.3	3.44
13.1	85.90	4.4	3.52
13.6	89.66	4.7	3.76

14.2	93.58	4.9	3.92
14.8	97.74	5.2	4.16
15.5	102.06	5.4	4.32
16.2	105.70	5.8	4.64
17.0	111.58	6.1	4.88
17.7	116.78	6.5	5.20
18.6	122.22	6.8	5.44
19.5	128.06	7.3	5.84
20.4	134.22	7.7	6.10
21.4	140.70	8.1	6.48
22.4	147.58	8.6	6.88
23.5	154.86	9.1	7.28
24.7	162.62	9.7	7.76
26.0	170.86	10.3	8.24
27.3	179.66	11.0	8.80
28.8	189.50	11.6	9.29
30.3	199.42	12.4	9.92
31.9	209.98	13.2	10.56
33.6	221.26	14.1	11.28
35.4	233.26	15.0	12.00
37.4	246.14	16.1	12.88
39.5	259.98	17.3	13.84
41.8	274.78	18.5	14.80
44.2	290.62	19.8	15.84
46.7	307.50	21.1	16.88
59.5	325.66	22.7	18.16
52.5	345.18	24.4	19.52
55.6	365.98	26.0	20.80
59.0	388.46	28.1	22.48
62.7	412.70	30.3	24.24
66.7	438.86	32.7	26.16
71.0	467.18	35.4	28.32
75.6	497.74	38.2	30.56
80.7	531.18	41.8	33.44
86.1	566.94	44.7	35.76

曲線に因て各含水率に對する外殻部及中心部の含水率を求めたるに

第29表、第26圖の如く、平均含水率50%以上に對する外殻部の含水率は纖維飽和點以上に維持すれば充分である。各外殻部の含水率に對する平衡濕度を第16圖により求めたるに第29表第26圖の如くてあつて乾燥溫度、濕度を之れより如何程低下せしむべきかが問題となる。

溫度は最初は低溫にするもので、45°Cを適當と思料す。關係濕度は實驗結果に因るに含水率70%迄は95%程度にて可成の速度にて乾燥されるが故に之の關係濕度にて充分であつて含水率65%、40%、30%、25%、と減少するに従ひ關係濕度を89%、85%、80%、70%程度に減少させるのである。含水率20%以下に對しては未だ實施せざる爲之を確信する事は出来ぬが、^{(29) 6×2(16)}文獻により含水率10%に對しては關係濕度40%程度を適當と思料し外殻部の含水率に對する關係濕度を考慮して各含水率に對する適當なる關係濕度を求むに第26圖の如くてある。溫度は最初の間低く45°Cに保ち含水率の減少と共に

第29表 外殻部含水率及平衡含水率

含 水 率 (%)	外殻部含水率 (%)	中心部含水率 (%)	外殻部含水率を 平衡とする關係 濕度 % (45°C)	備 考
50.0以上	27.0	71.0	—	
49.5	26.5	70.0	98.0	
46.7	26.2	67.0	97.0	
44.2	25.8	60.0	97.0	
41.8	22.5	56.0	95.0	
39.5	21.2	53.8	93.0	
37.4	20.0	49.0	92.0	
35.4	18.5	46.0	88.0	
33.6	17.8	44.0	—	
31.9	17.0	42.0	87.0	
30.3	16.2	40.0	85.0	
28.8	15.2	37.0	83.0	
27.3	14.5	35.0	81.0	
26.0	14.0	34.0	77.0	

24.7	13.4	32.0	75.0
23.5	13.2	31.0	74.0
22.4	12.5	28.5	72.0
21.4	12.0	27.0	70.0
20.4	11.0	25.5	65.0
19.5	10.2	24.0	62.0
18.6	10.0	23.0	60.0
17.7	9.5	21.6	58.0
17.0	9.0	21.0	55.0
16.2	8.9	19.6	54.0
15.5	8.8	19.0	52.0
14.8	8.4	18.0	50.0
14.2	8.0	17.5	47.0
13.6	7.8	17.0	45.0
13.1	7.5	16.0	44.0
12.5	7.2	15.0	42.0
12.0	6.8	14.2	39.0
11.5	6.6	14.0	38.0
11.0	6.5	13.0	37.0
10.6	6.3	12.5	36.0
10.2	6.0	12.0	34.0
8.2	5.0	9.0	26.0
6.7	3.4	7.2	18.0
5.0	2.6	5.9	13.0

に増加させて55°Cに至らしめるを適當と思料す。ナラ材の生材より10%程度に迄に乾燥するに適當なる乾燥スケジュールは第30表の如きものと認め、各種含水率より10%程度に迄乾燥するに要する日數を附記した。

第30表 ナラ材の乾燥基準表 (60mm)

含水率 (%)	温 度 (°C)		關 係 温 度 (%)	含水率1%迄 に減少するに 要する日數	含水率15%迄 に減少するに 要する日數	備 考
	乾 球	湿 球				
80	45	44	95	41	32	高壓弱壓の Steaming を交互に併用し、高壓 Steaming 後は決して空氣と木材表面との温度差を生ぜしめざる如く操作するを要す。 含水率40%附近迄は主として弱壓 Steaming にて進行せしめ得。
75	45	44	95	40	31	
70	45	44	95	39	30	
65	45	43	89	38	29	
60	45	43	89	37	28	
55	45	43	89	35	26	
50	45	43	89	33	24	
45	45	43	89	32	23	
40	48	45.5	86	30	21	
35	48	45	83	27	18	
30	48	44	78	24	15	
25	50	44	70	21	12	
20	50	41.5	60	16	7	
15	55	43	50	9	0	
10	55	40	40	0	—	

4. 厚さ 25mm 材の乾燥に就て

60mm の生材よりの乾燥を行ふ前に實驗乾燥室内に於て2回實施したるに生材より含水率10~15%程度に迄4日間と云ふ極めて短期間内に乾燥する事が出来て、然も表面硬化も殆んど生じない良好なる結果が得られた爲、茲にその成績のみを圖示する。(第27, 28圖)

斯くの如く短時日間に乾燥し得たる理由は尙不明であるが適當なる Steaming 及終了後、排氣孔を開口して溫度を低下せしめ表面の蒸發を急速ならしめたるも、60mm 板の場合の如く表面割れを生じなく、極めて水分の移動も圓滑に行はれる爲であると思料せられた。

5. ナラ材の乾燥に於て生じ易き缺點及操作上の注意に就て

前述したる如くナラの厚板生材は殊に含水率の低下に伴ふ水分粘

着力が大で水分の移動の極めて困難な様であるから表面のみが乾燥しない様に極力注意を要する。生材の様に含水率多いものが特に斯様な欠點を生じ易いもので Steaming による高温處理後の表面の最外層部の過度なる乾燥に對して最も注意すべきものである。之が爲には Steaming 終了後10~20分毎に弱壓の Steaming を行ひ、木材表面と空氣との溫度差を小とすると共に空氣を可及的飽和狀態に維持せしめ、木材表面と空氣との溫度差無きに至りて初めて關係溫度を少々低下せしめる如く操作するを要する。斯くの如く Steaming 處理後の操作を適當にすれば Steaming に因て生材の乾燥は比較的安易になし得るのである。

平均含水率40~30%程度に至れば Steaming に因る効果は僅なる故、高温にする事なく唯表面硬化を防止すると共に水分の連繫を斷たない様に弱壓の Steaming を30分位實施するを要する。

ナラ材に對しては特に之の點が必要であつて之れ以外はブナの部に於て述べたる事項に對しての注意と同様である。

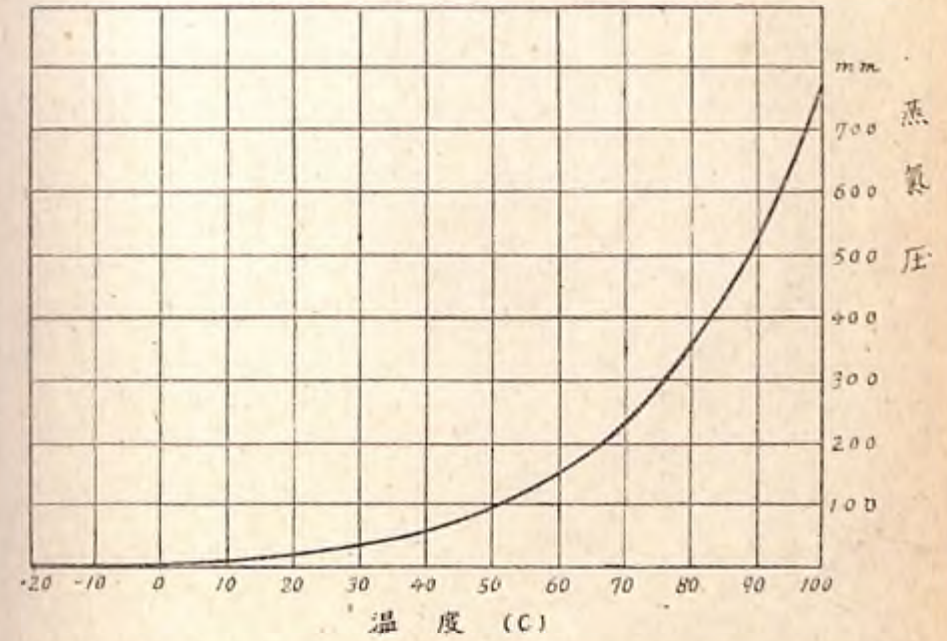
b 摘 要

ナラの厚板は天然乾燥に因るも表面割れの著しきものを生じ製材直後、人工乾燥に附するには相當の困難を伴ひ、ナラ材は天然乾燥をなして、然る後、人工乾燥を施行するものと稱せられて居るので斯様な原因を探究して之れに對する對策を講じ、厚板の乾燥に對する基準表を作製したのである。即ち含水率多き場合の Steaming の効果は他の樹種に比較して相違は無く、内部水分の移動の困難は操作にて除去せられる事も記述し、更に60mm板の乾燥實驗結果を基礎として、水分蒸發量を求め前項同様の方法に因て基礎表(第30表第26圖)を作製し最後に特にナラ材の人工乾燥に對する操作上の注意事項を述べたのである。

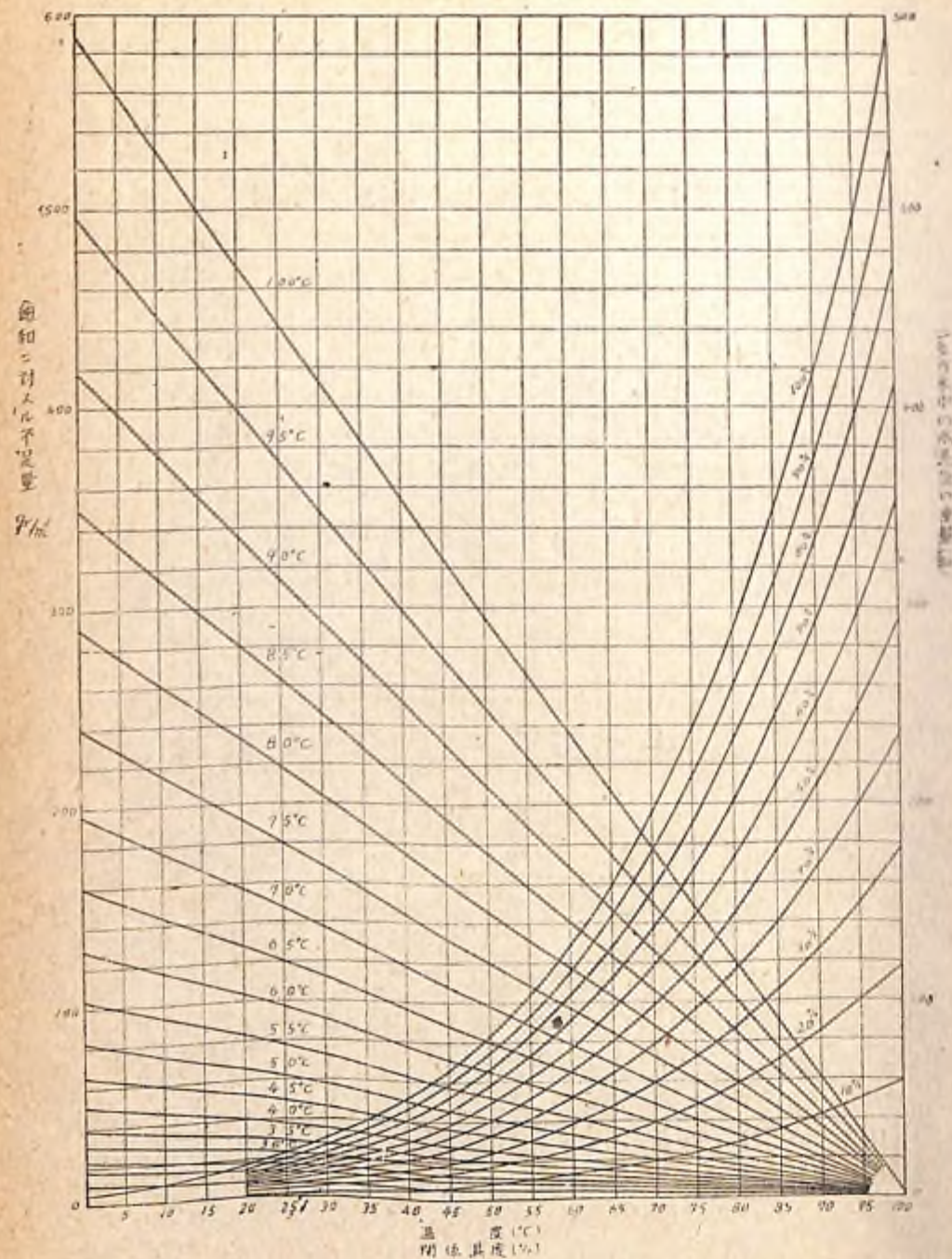
文 献

1. K. Egner, Beiträge zur Kenntnis der Feuchtigkeitsbewegung in Hölzern, von allem in Fichtenholz, bei der Trocknung unterhalb des Fasersättigungspunktes, Forschungsberichte Holz, Heft 2, 1934.
2. Henderson, The Air Seasoning and Kilndrying of Wood. 1936.
3. 泉 岩 太 乾燥室内に於ける板材の堆積法と熱氣の循環 林學會雜誌 第16卷 第9號
4. 泉 岩 太 板材の乾燥速度と厚さとの關係 林學會雜誌 第15卷 第11號
5. Koehler & Thelen, The Kiln Drying of Lumber.
6. F. Kollmann, Technologie des Holzes. 1936.
7. F. Kollmann, Die Abhängigkeit der Trocknungsgeschwindigkeit des Holzes von Raumgewicht und der Struktur. Forschungsberichte Holz, Heft 1. 1933.
8. 北 村 義 重 プナ材の人工乾燥に就いて 北海道林業試験場時報第21號
9. Fr. Moll, Künstliche Holztricknung. Berlin 1930.
10. Martley, Moisture Movement through Wood the Steady State. 1926.
11. 松 本 文 三 木材乾燥法 昭和16年
12. 松 本 文 三 木材の真空乾燥機構及其運用に就いて 林學會雜誌 第21卷 第6號
13. 松 本 文 三 木材の水分傾斜曲線及乾燥スケジュール 林學會雜誌 第16卷 第4號
14. 小 倉 武 夫 人工乾燥の前操作としてのステーションングの效果に就いて 日本中學會誌 第22卷 第11號
15. Somleithner, E. Verlauf der Feuchtigkeit innerhalb des Holzes während der Trocknung. Forschungsberichte Holz, 1. 1933.
16. Schülster & Fessel, Neue praktische Erfahrung bei der Künstlichen Holztricknung, Trockentechnik. Holz als Roh- und Werkstoff Heft 5, 1939.
17. H. D. Tieman, The Kiln Drying of Lumber.
18. 田 中 勝 吉 有用木材の性質及用途

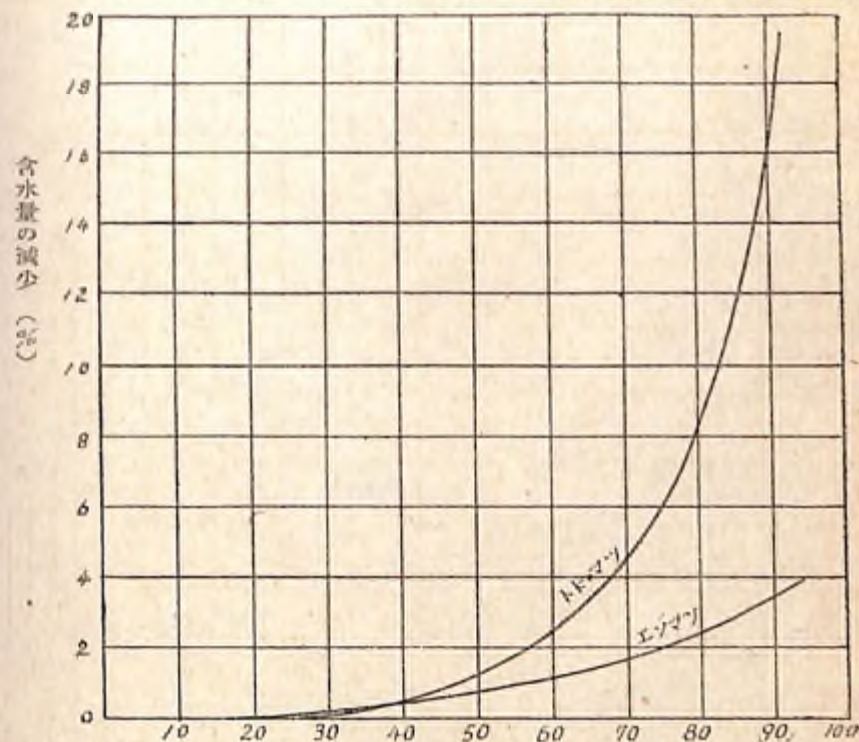
第1圖 温度と最大蒸気壓との關係圖



第2圖 温度、關係温度及飽和に對する不足量との關係圖

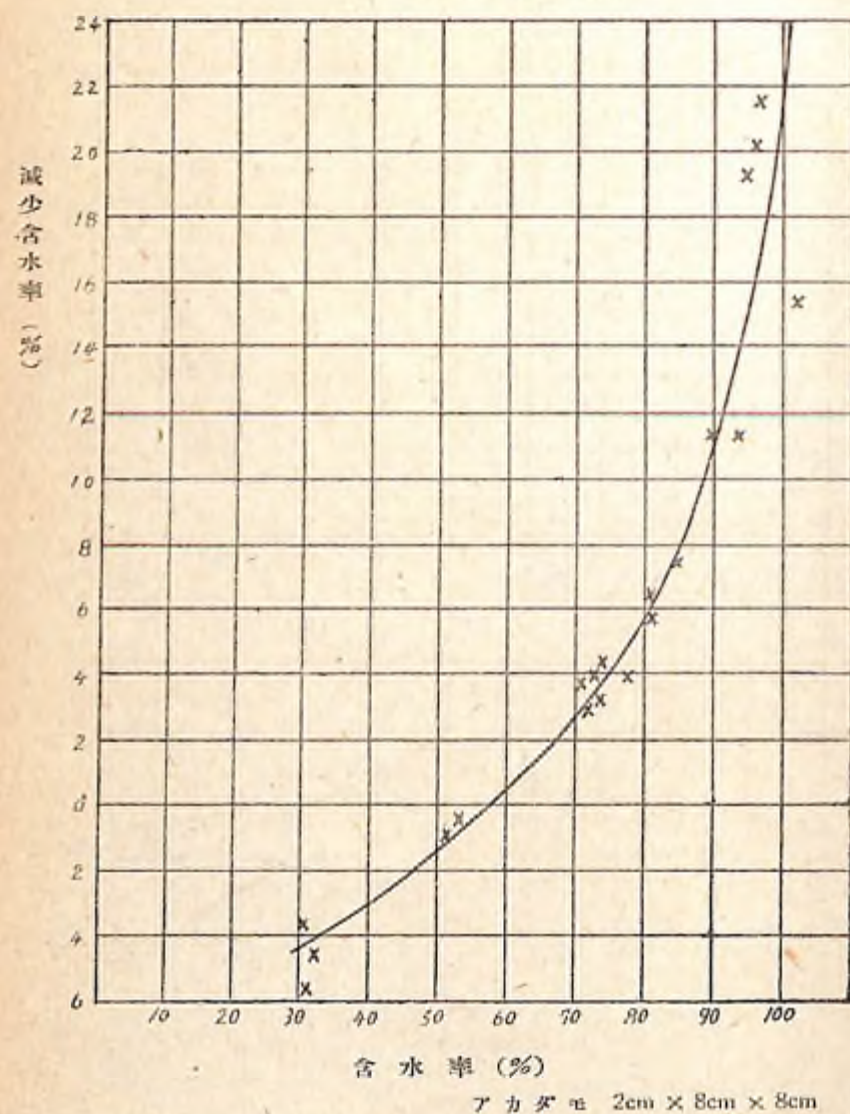


第4圖 木材の温度上昇と水分減少との關係

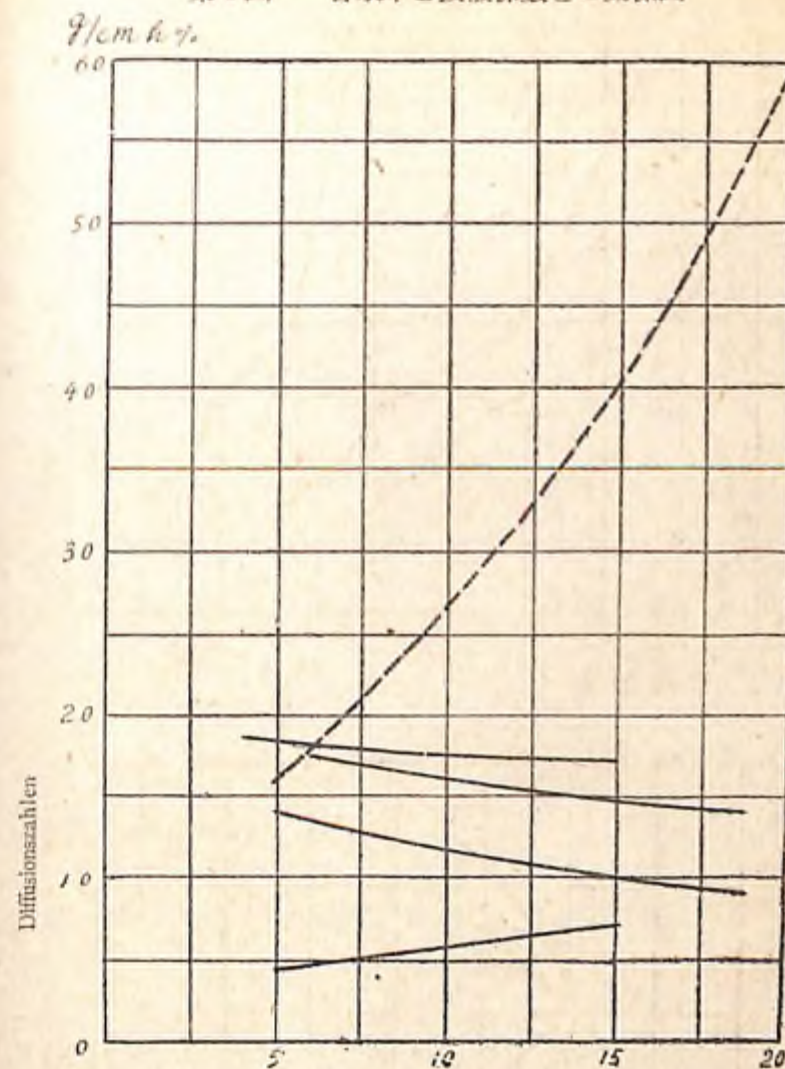


松本氏に因る { トドマツ 含水率 104%
エゾマツ 含水率 50%
2 cm × 8 cm × 8 cm

第5圖 温度上昇による水分變化量と含水率との關係
(100°C飽和蒸氣中)



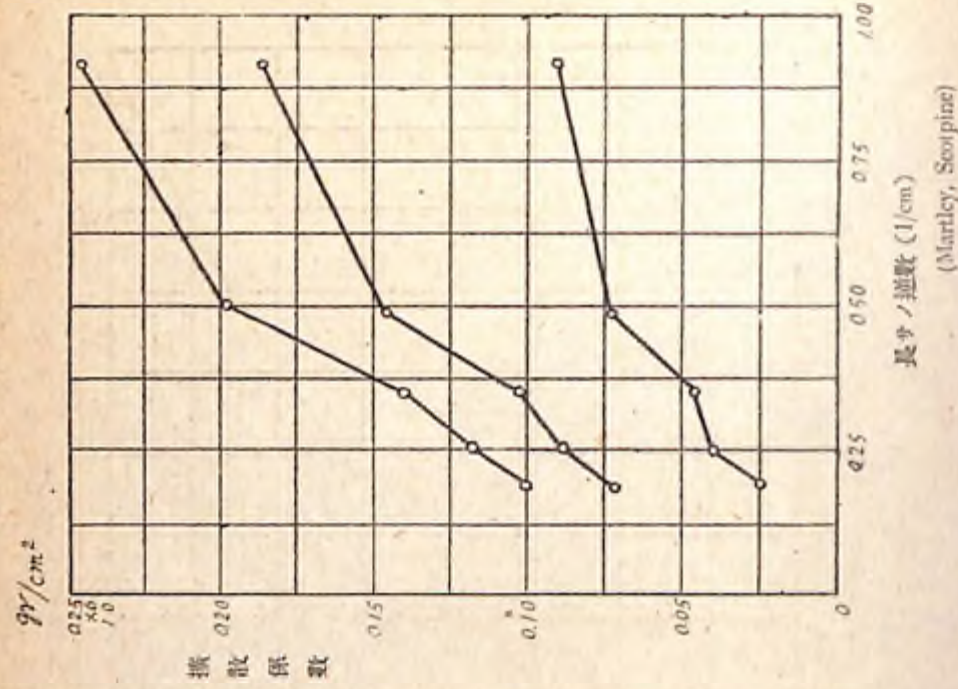
第6圖 含水率と擴散係數との關係圖



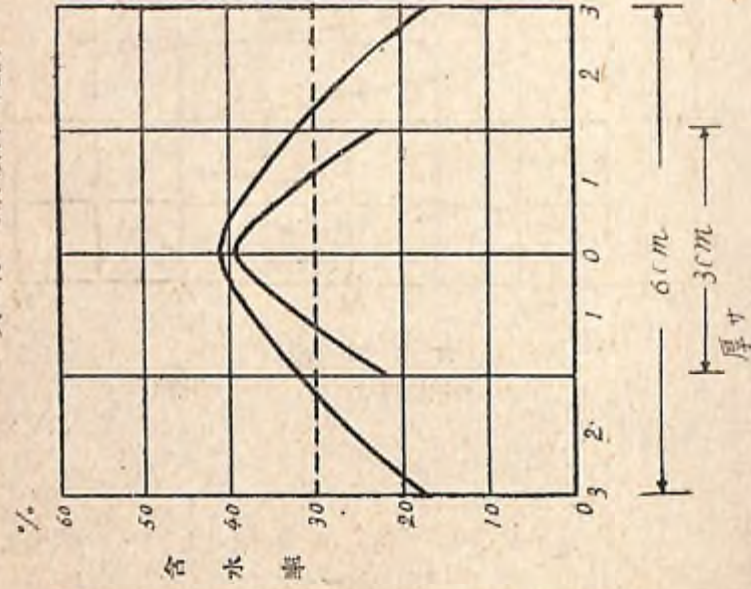
1. ハシの擴散係數 (Nr. 999 の乾燥)
2. ハシ " (Nr. 1091 ")
3. ハシ " (Nr. 1299 ")
4. マツ " (Nr. 1090 ")
5. タツヒ " (Nr. Egner による)

乾燥温度~75°

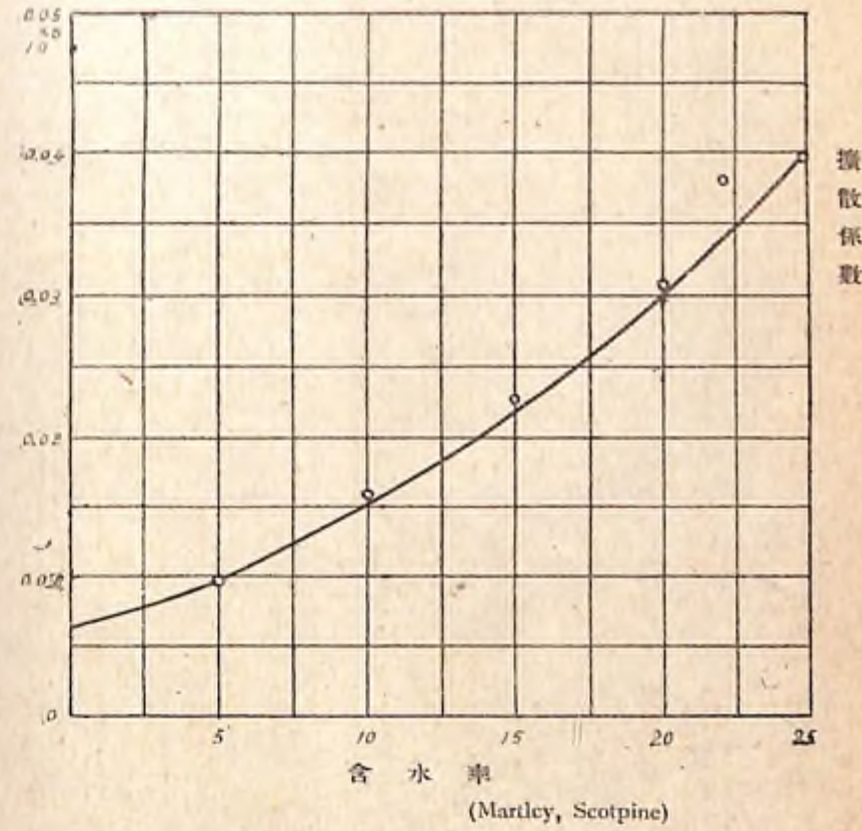
第8圖 厚さと擴散係數との關係



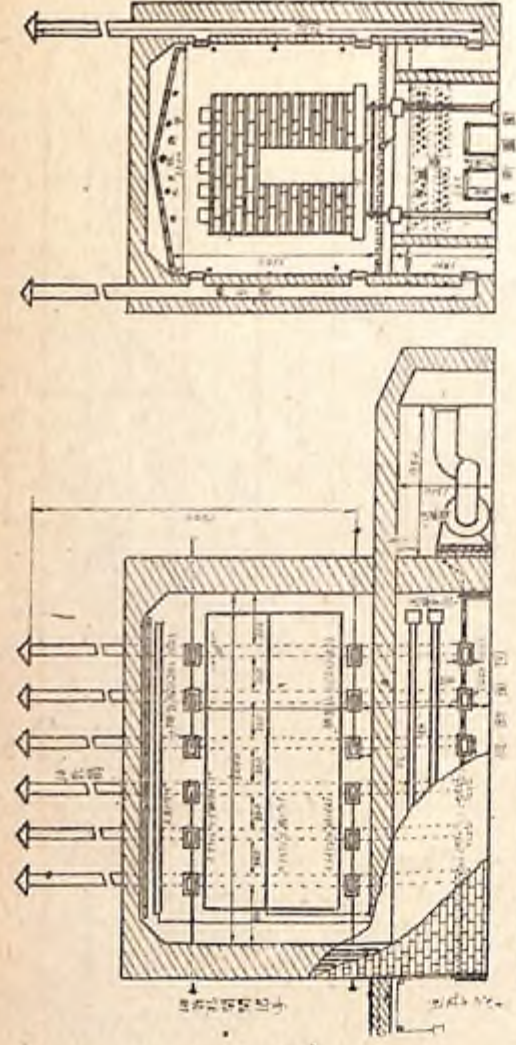
第9圖 平均含水率30%にして厚さの異なる材の水分傾斜の比較



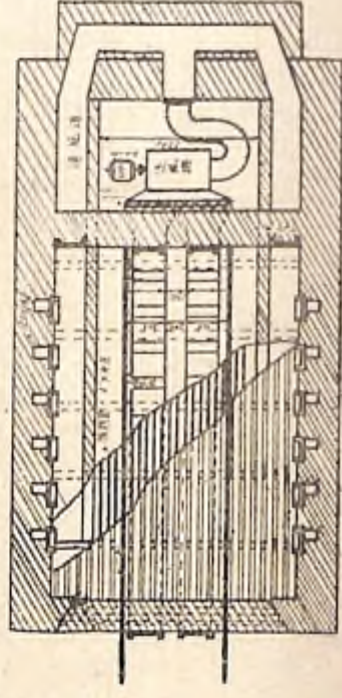
第10圖 含水率と擴散係數との關係



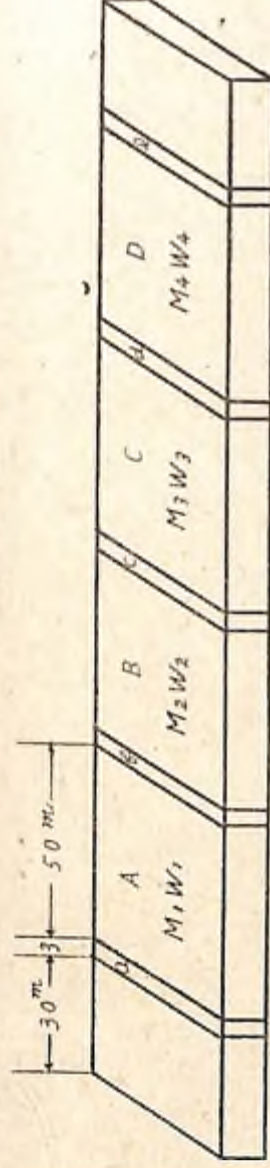
第11圖 乾燥室斷面圖 (mm)



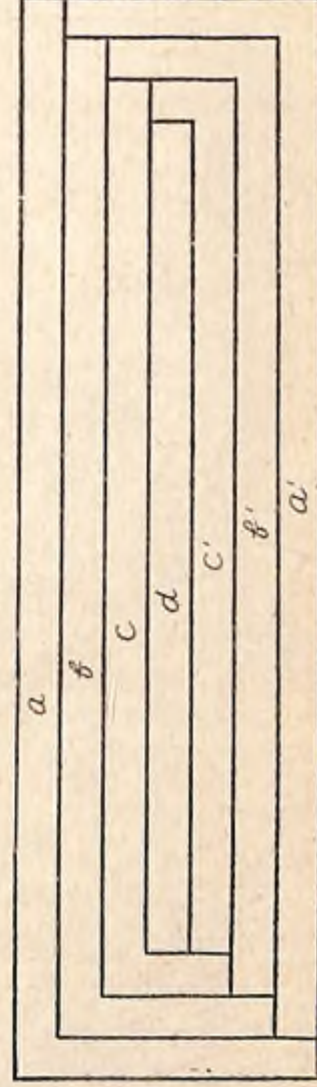
乾燥室斷面圖
全長 2800 mm
全寬 2700 mm
全高 2700 mm
乾燥室面積 7.56 m²



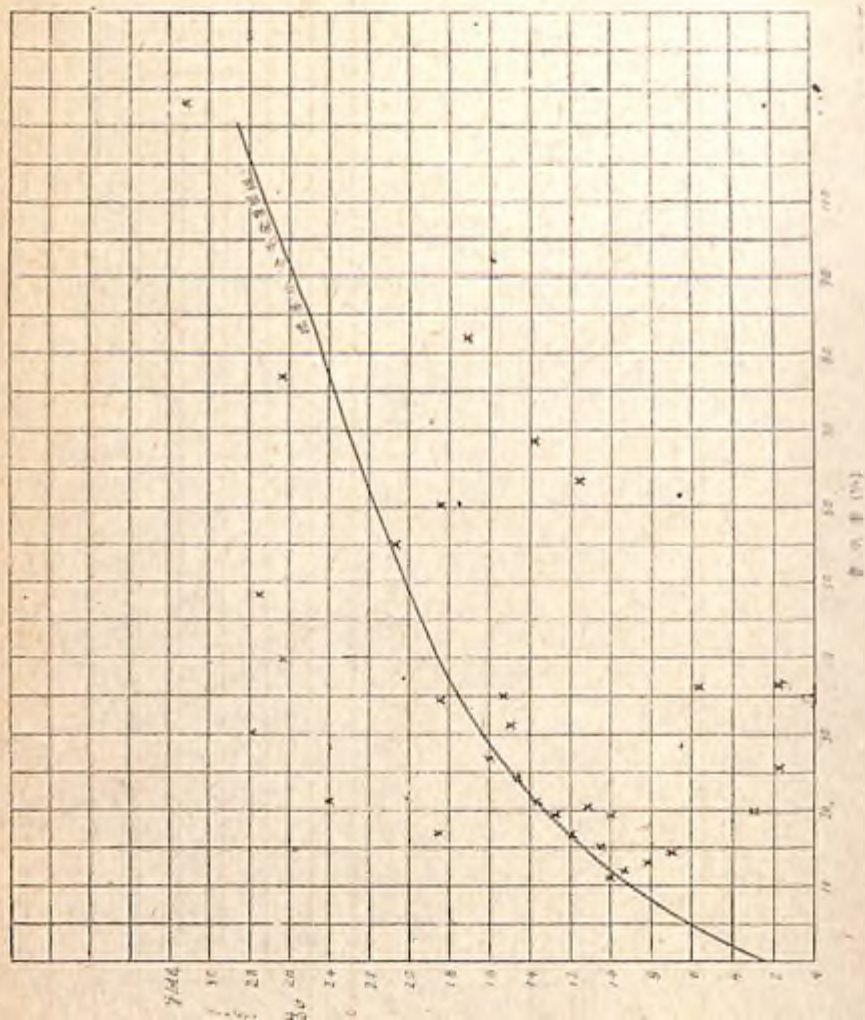
第12圖 乾燥試驗片採材法



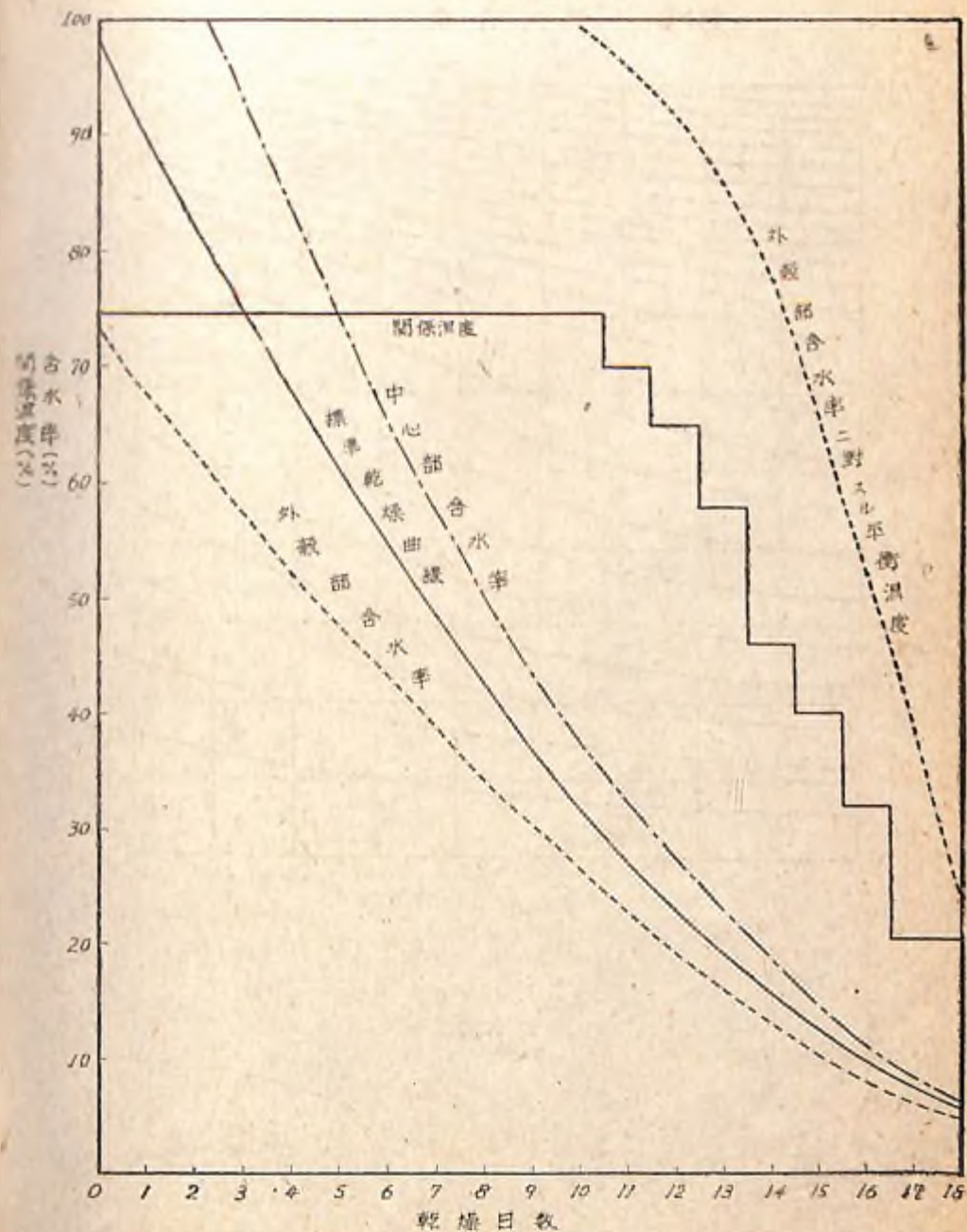
第13圖 水分分布狀態調查採材法



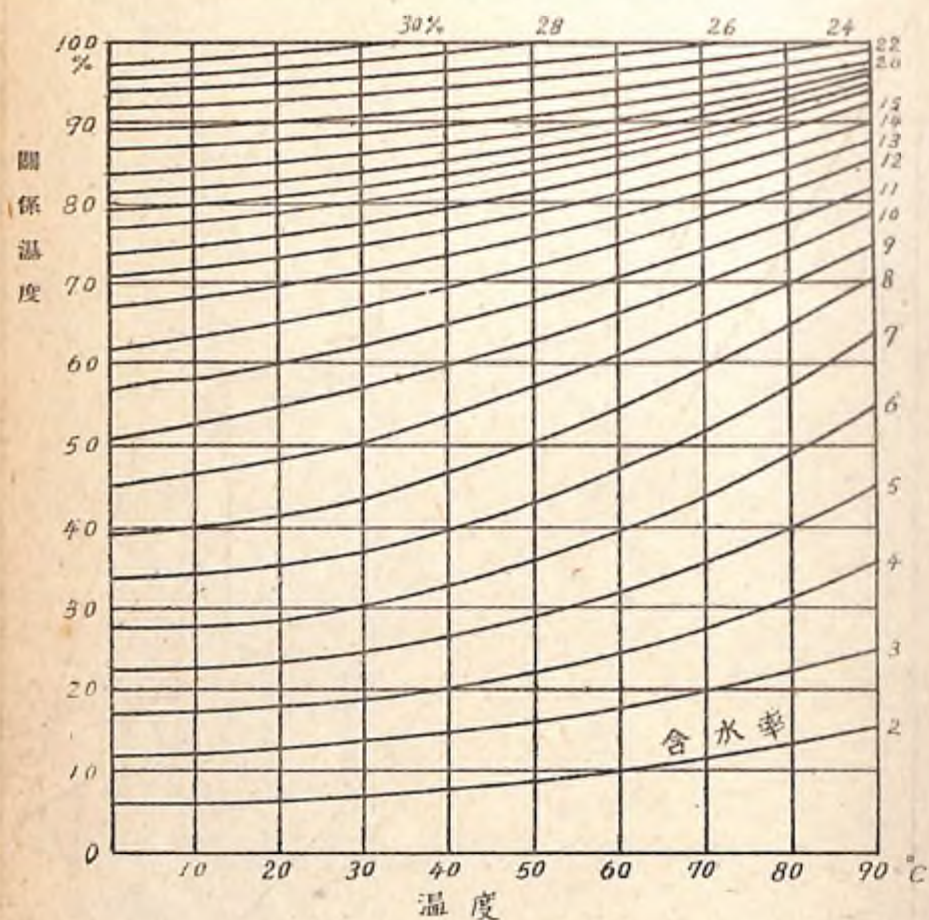
第14圖 含水率と水分蒸發量との關係



第15圖 標準乾燥曲線圖
(ブナ25mm板)

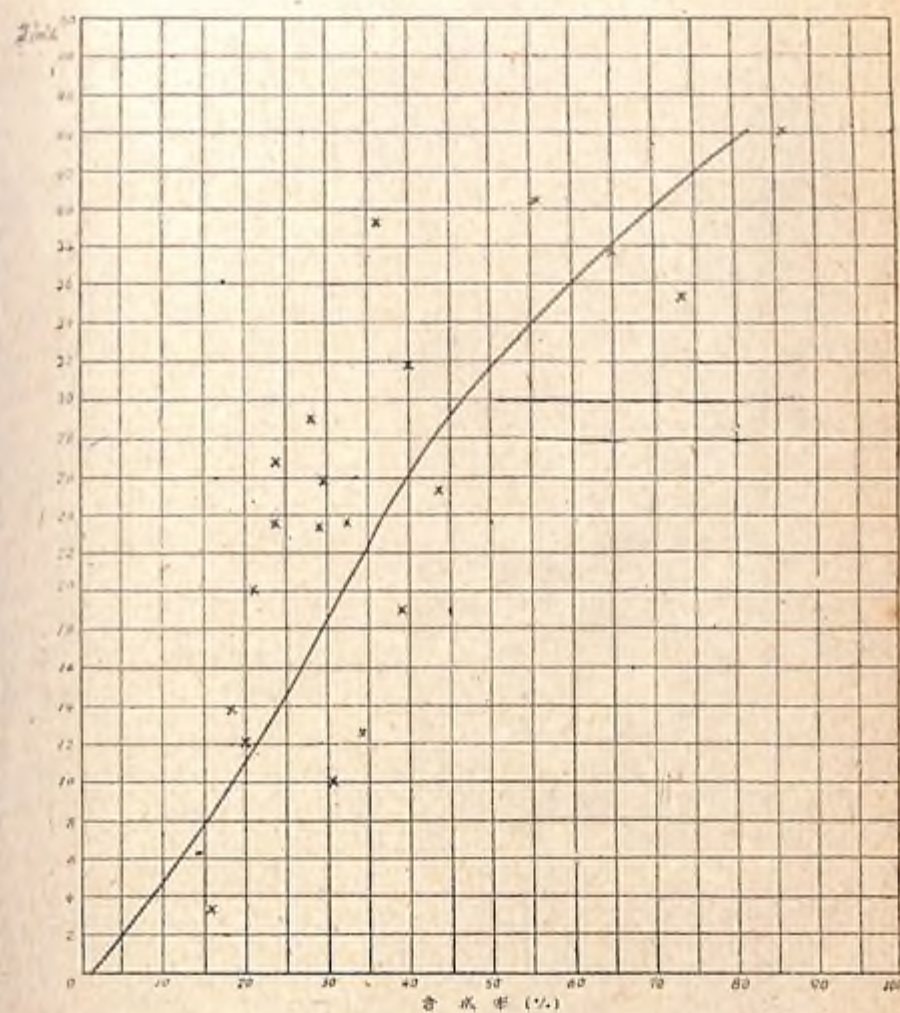


第16圖 平衡含水率曲線

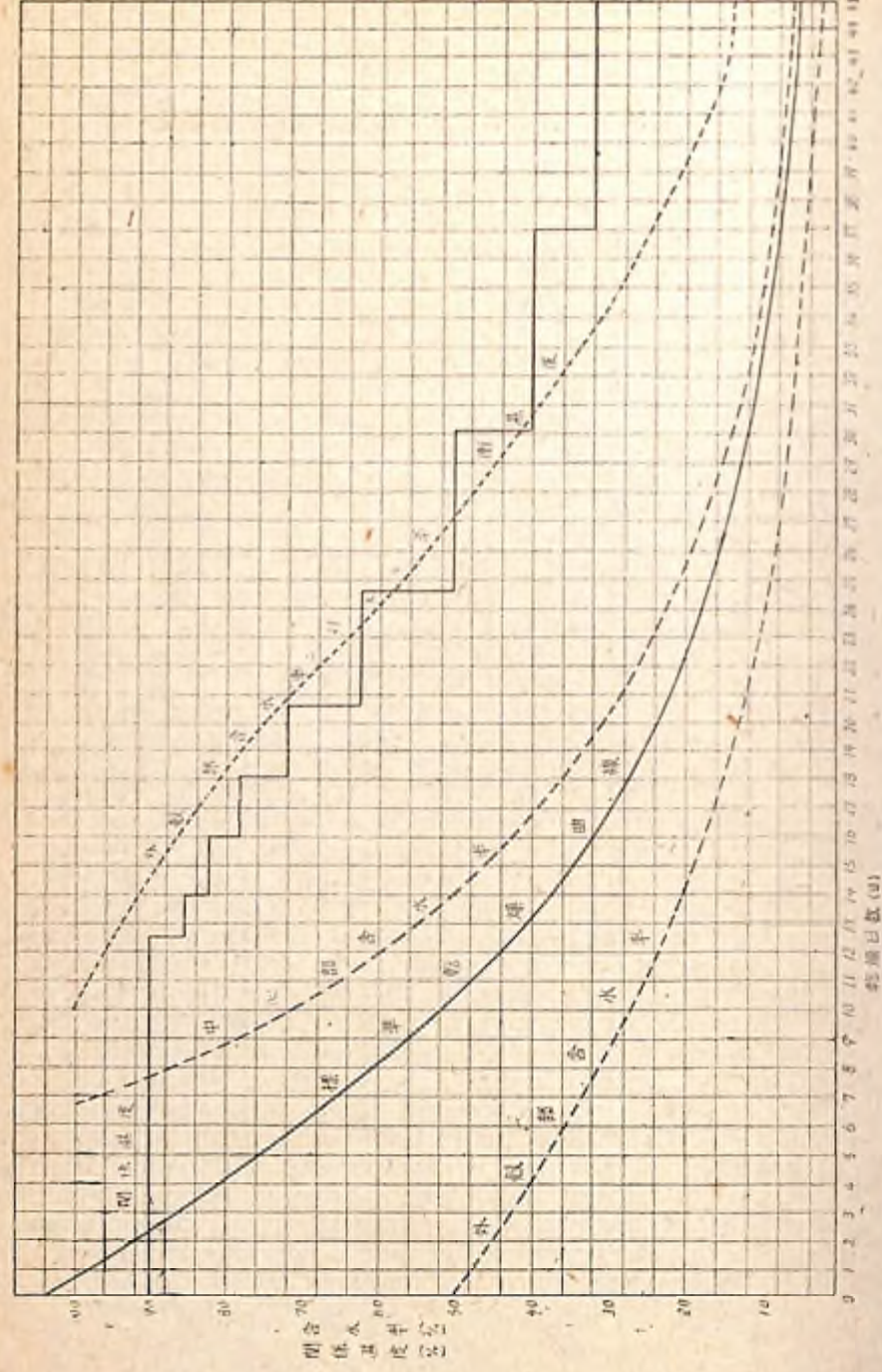


20°~90°C Kollmann
 0°~20°C Lambrechts Hygrometertafel
 に因る

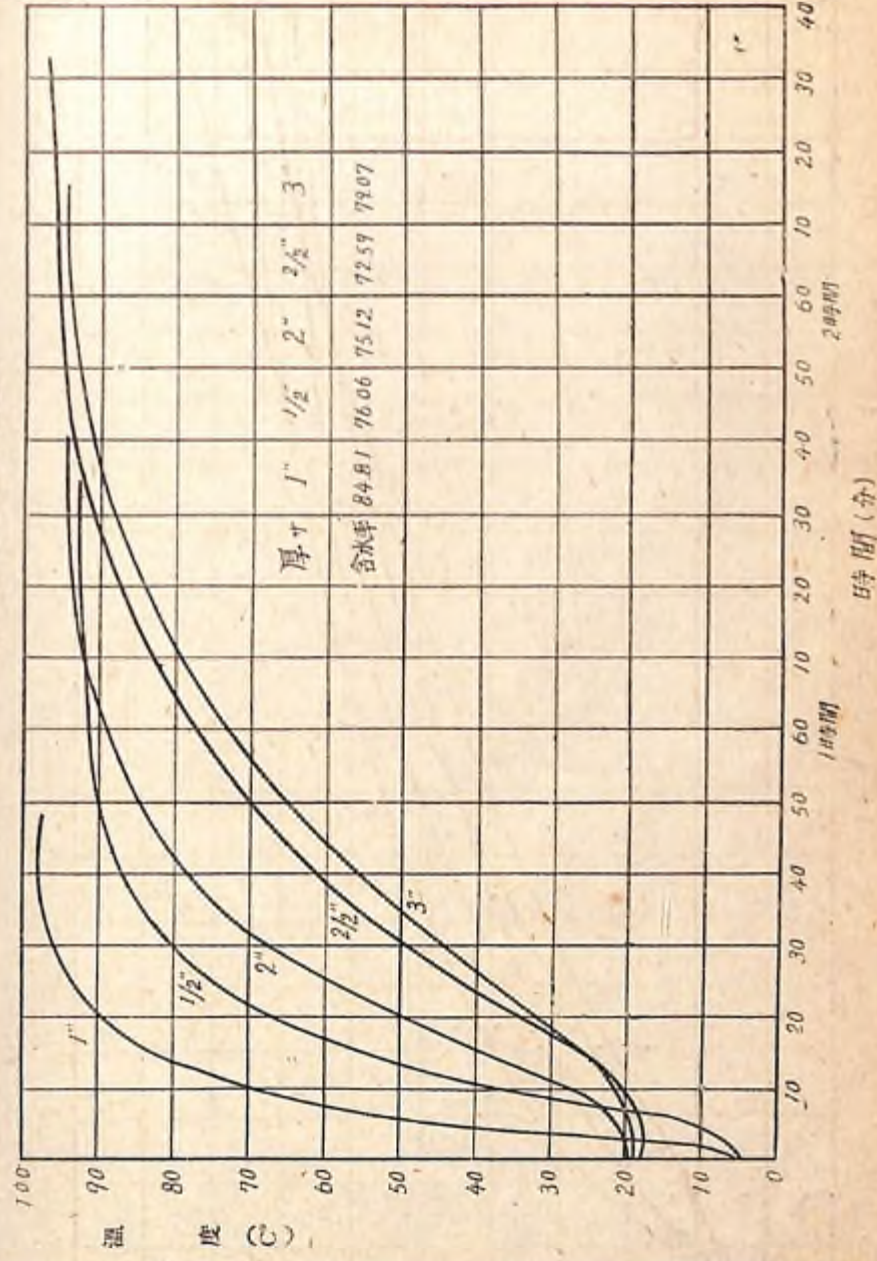
第17圖 含水率と水分蒸發量 qv との関係



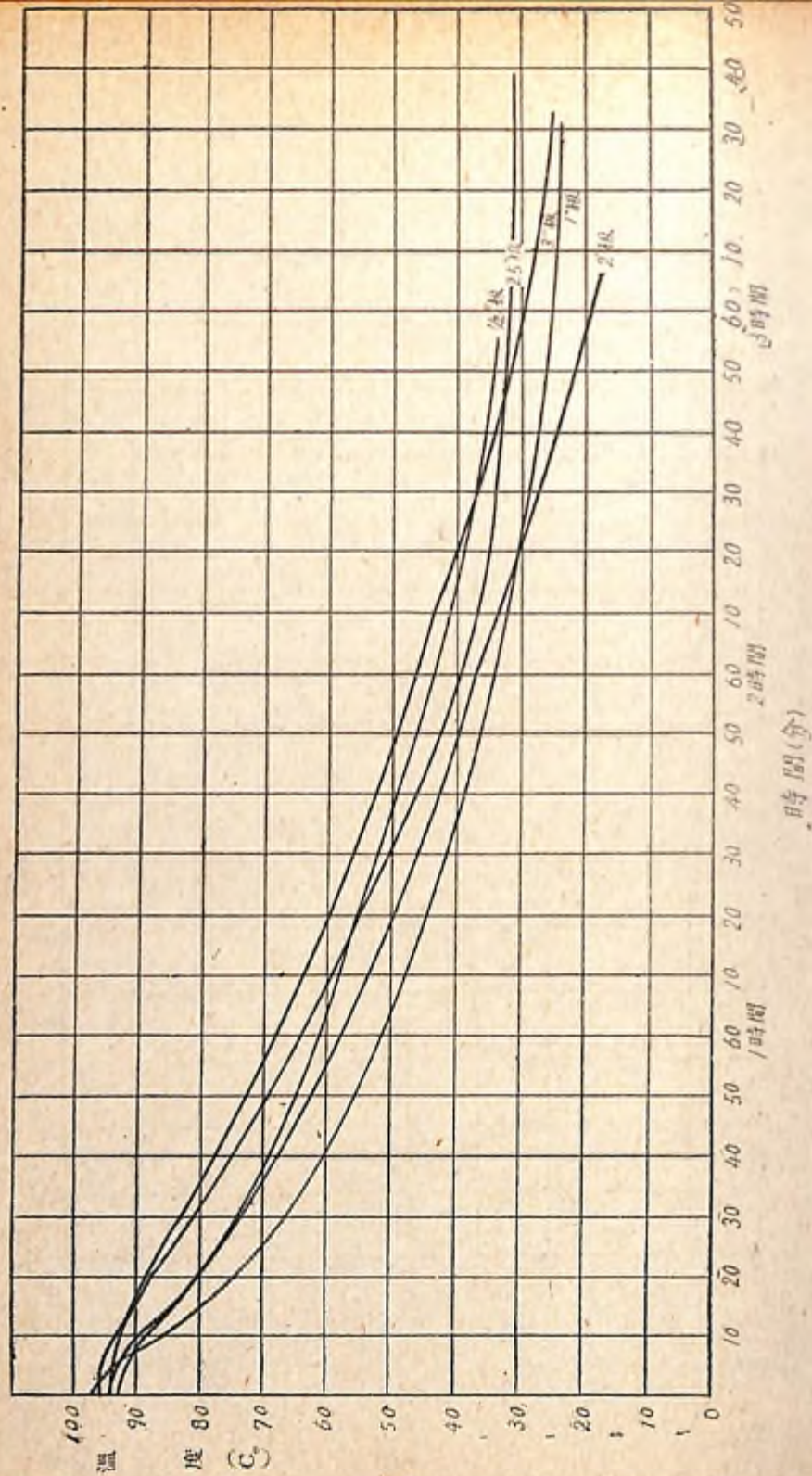
第18圖 標準乾燥曲線圖 (ブナ3寸板)(60mm)



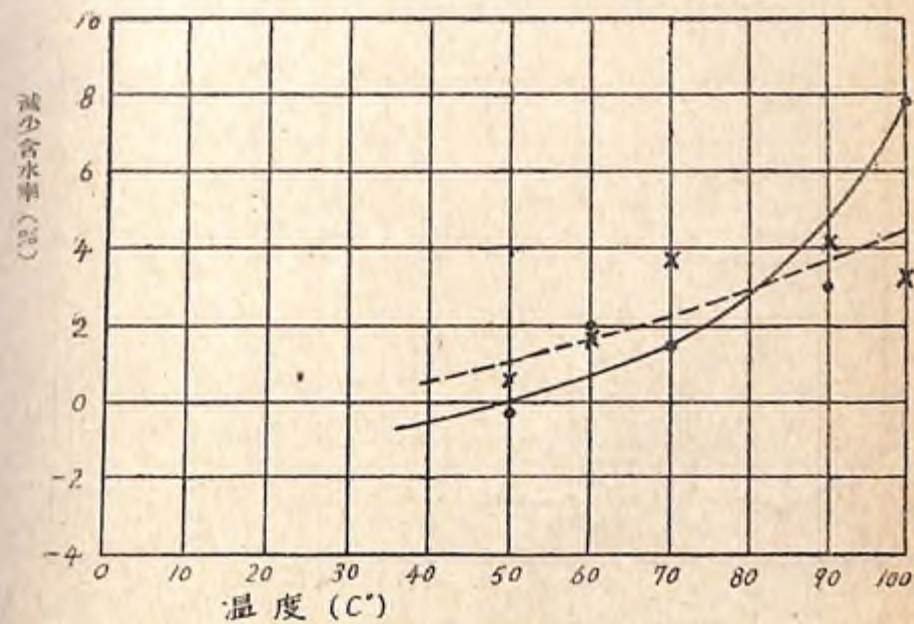
第19圖 ナラ材の内部溫度上昇經過圖



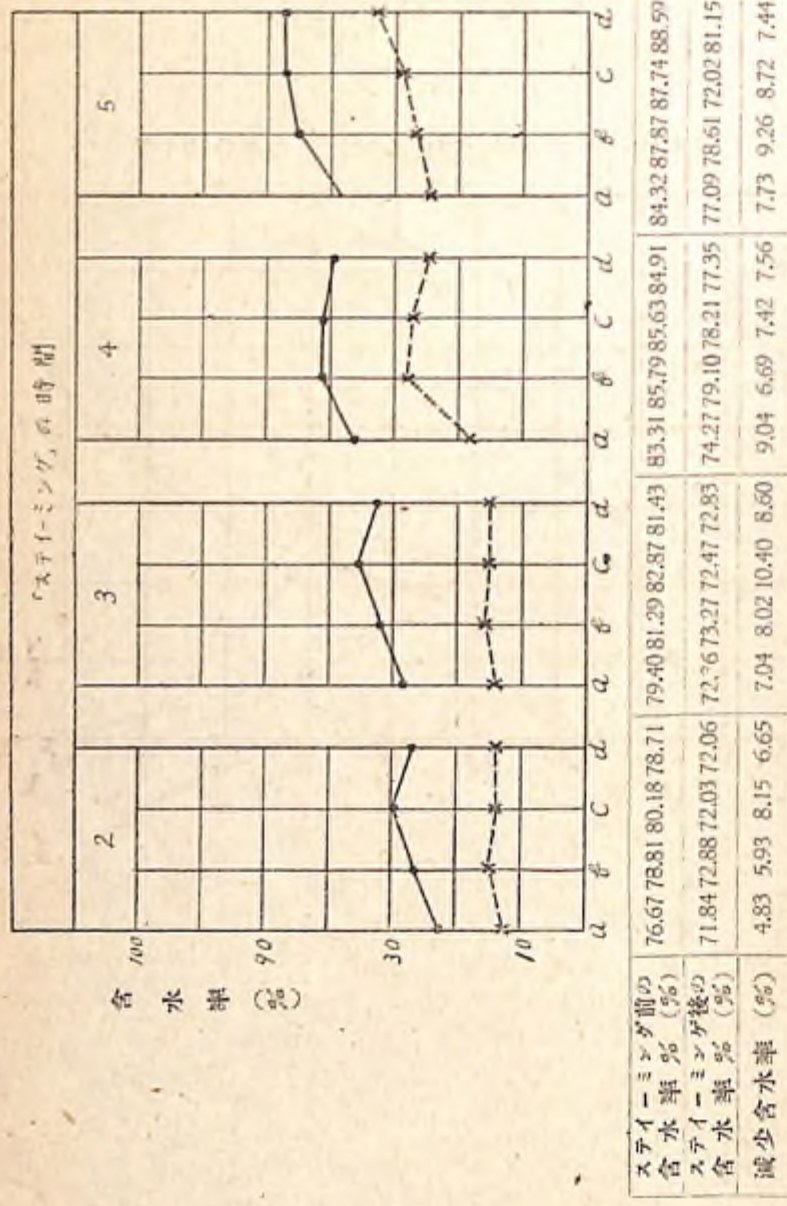
第20圖 ナラ材の内部温度降下経過圖



第21圖 ナラ材の温度上昇による水分減少量



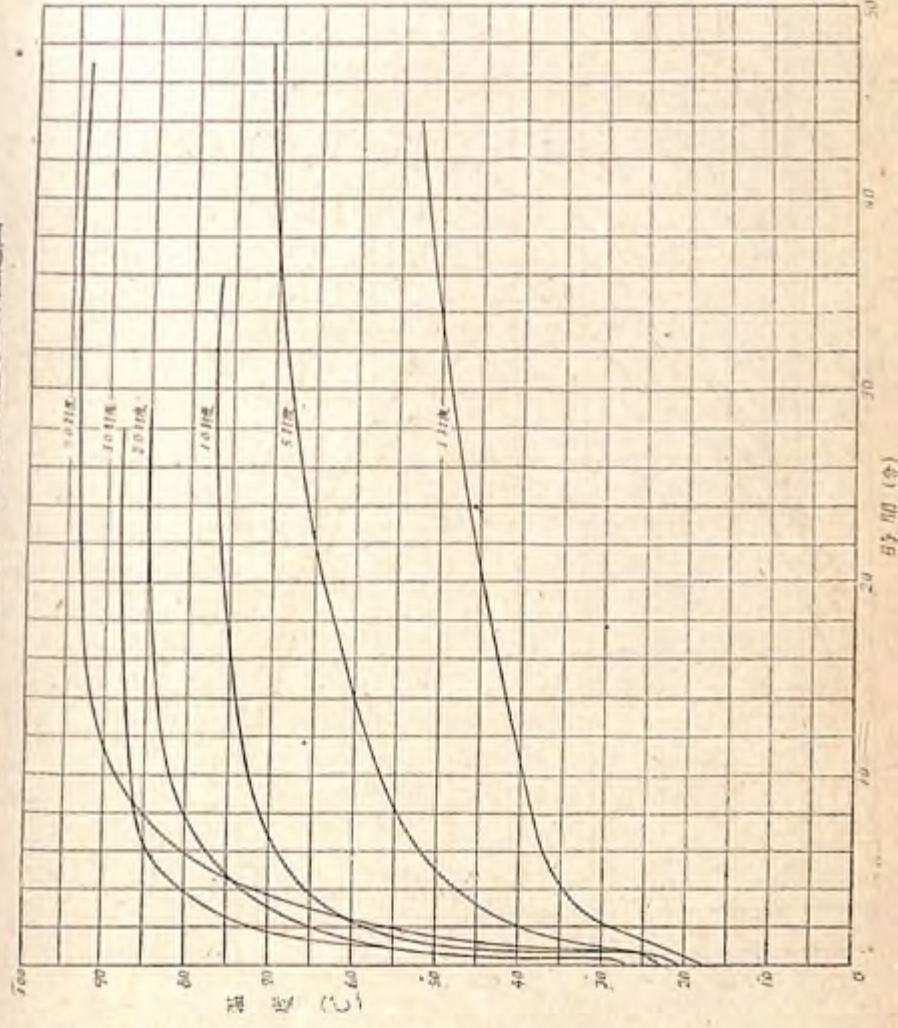
第22圖 ナラ時板のステイミングによる水分分布状態の変化



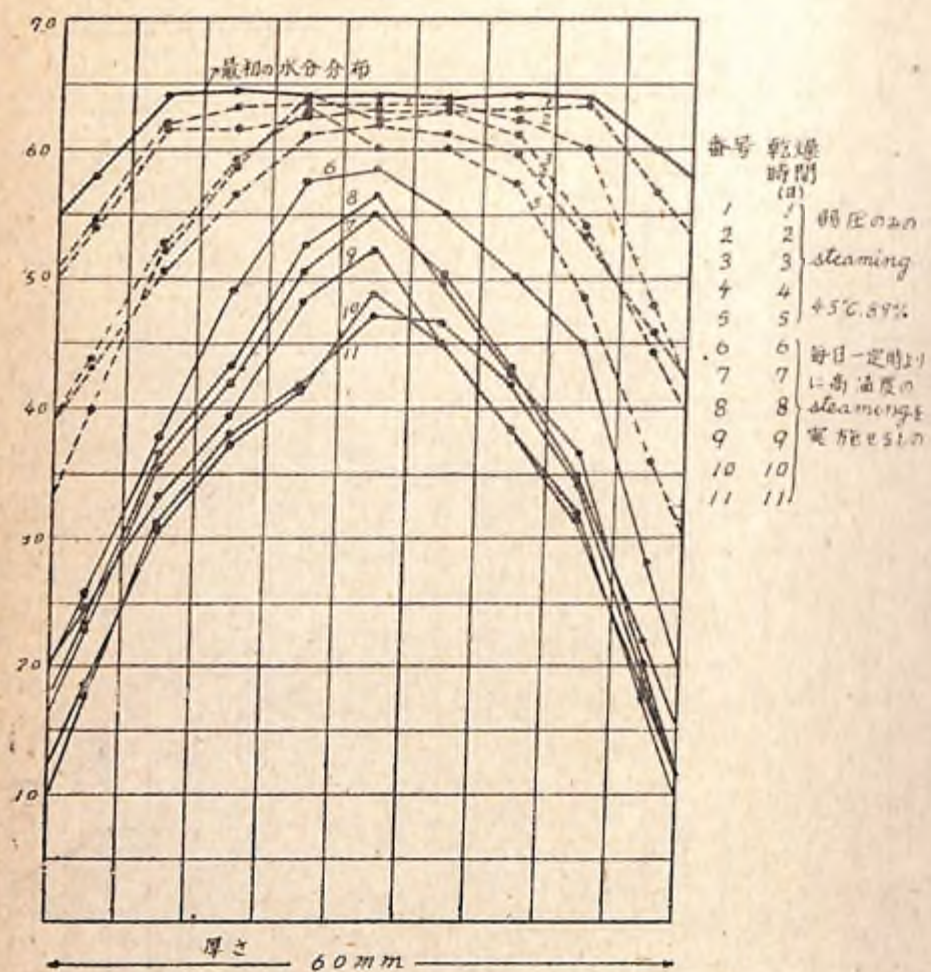
a は外殻部、d は中心部にて、b, c は夫々其の中間の位置を示す。

實線は「ステイミング」前、點線は「ステイミング」後の水分分布状態を示す。

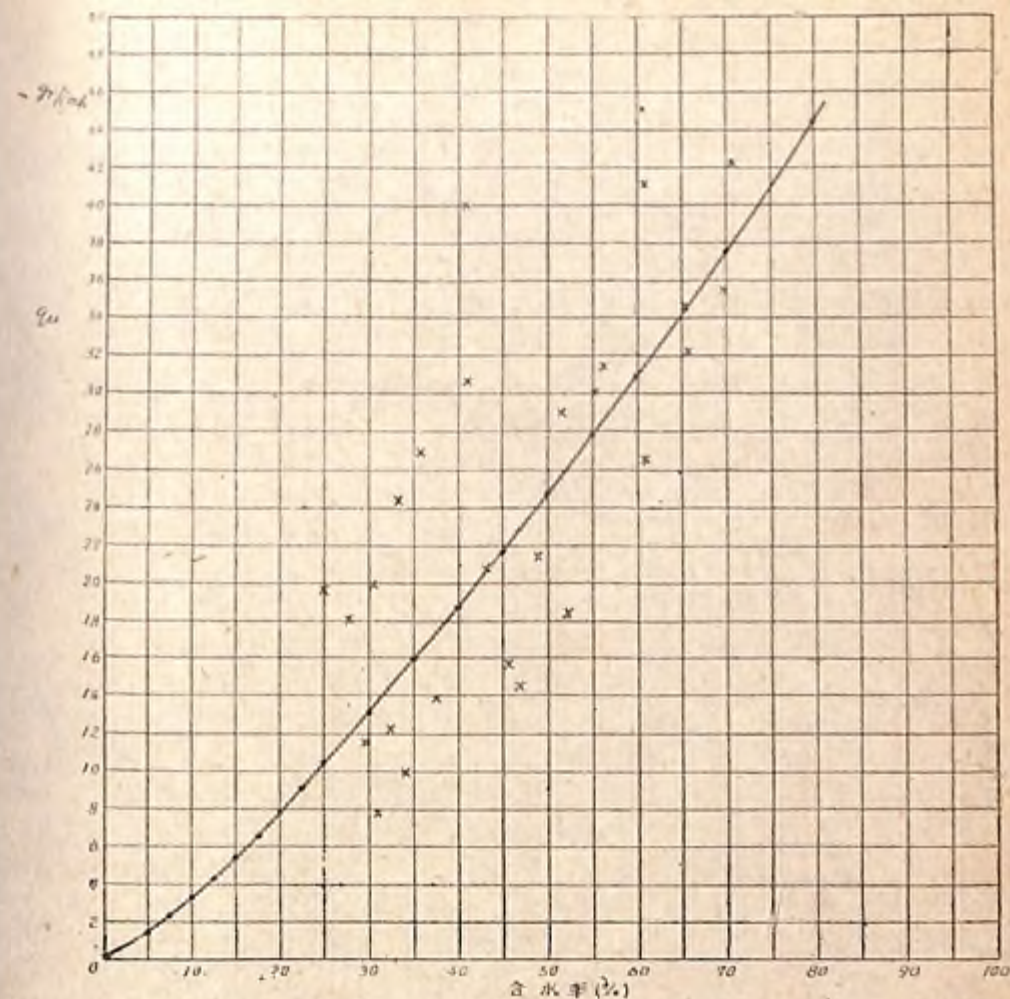
第23圖 噴霧蒸氣に因る室内温度上昇経過圖



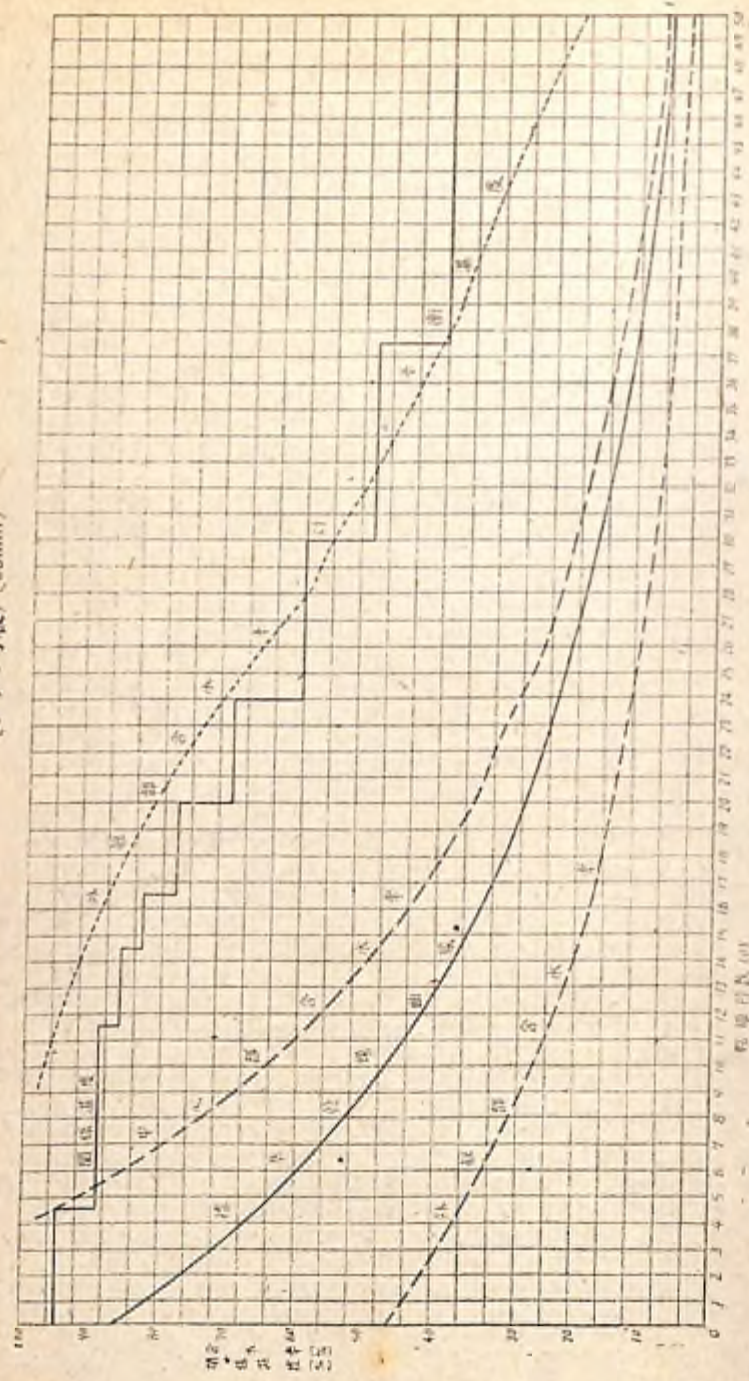
第24圖 中間スティーミングの実施による水分分布の変化



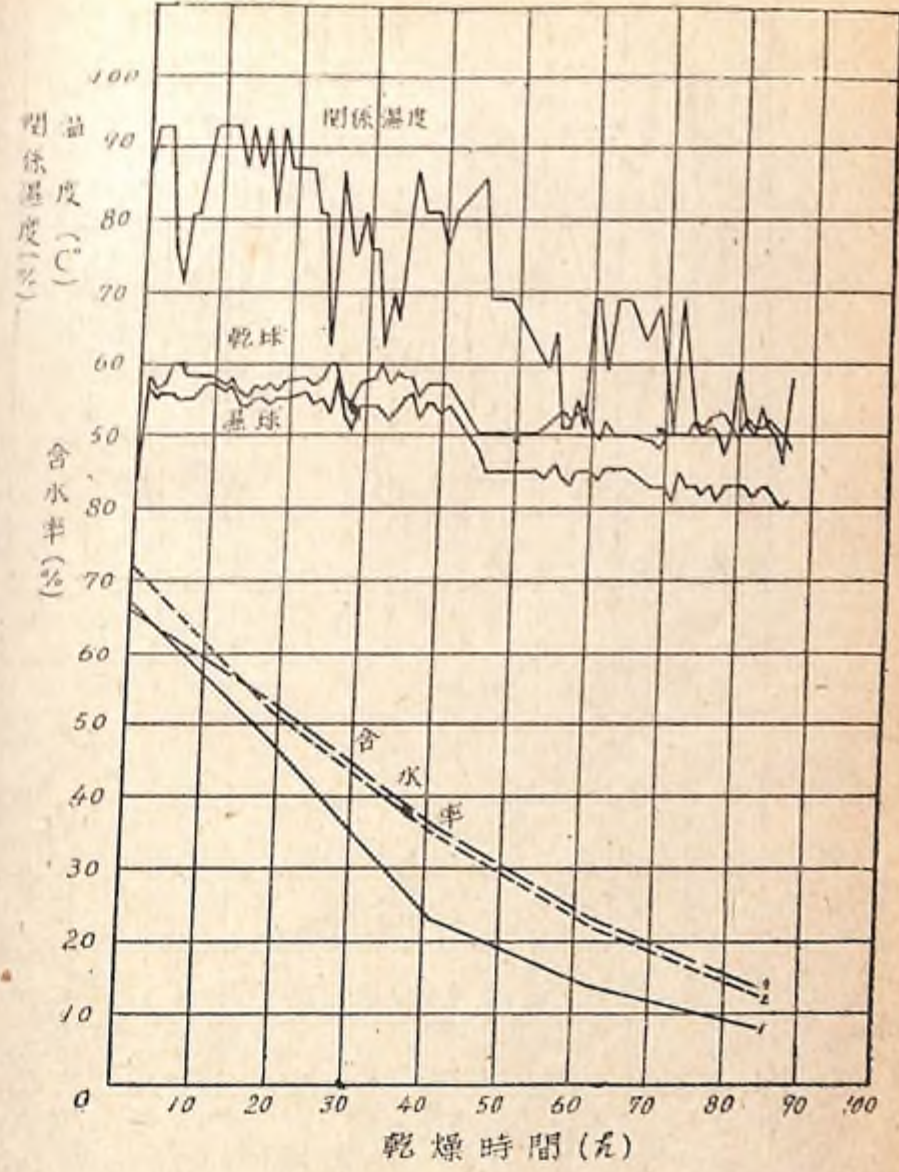
第25圖 含水率と水分蒸発量との関係 (ナラ60mm板)



第26圖 標準乾燥曲線圖
(ナラ2寸板) (60mm)



第27圖 ナラ25mm板乾燥經過圖 (I)



第28圖 ナラ25mm板乾燥經過圖 (II)

