

木材乾燥の最近の展望

満 久 崇 磨*

Takamaro MAKU* : Review of Recent Wood Drying.

木材乾燥の基礎的諸問題の研究が進み、基礎智識が明かにされてきたため、最近の乾燥技術はかなり急ピッチで向上し、その間逐次乾燥スケジュールの改善や新しい乾燥法の提案なども行なわれている。それでもなお、基礎と技術の間にはごくせまい範囲を除いて相当のへだたりがあり、後者がもつばら経験によつて支配されている場合が少なくない。

木材乾燥には多くの問題が関連しているので、基礎研究だけをとりあげても簡単にまとめられないほど龐大な紙面を必要とするが、ここでは主として1960年以降における、直接木材乾燥に関連した諸研究と乾燥工業の趨勢を展望することにする。

基礎及び応用研究の展望

基礎研究の面では、当然のことながら**木材中の水分移動**に関するものが最も多い。木材中の水分の移動は細胞腔内における自由水の移動または水蒸気の拡散、細胞膜内の微視毛細管に沿っているいはこれを横切る水分の移動、膜孔膜や穿孔における水分の移動などの複雑な組合せからなり、とくに小さな開口部では水分の凝結も起りうるので、単なる拡散や流動式の適用によつて解決されるものではなく、今日まで数多くの理論式の導出や実験が行なわれているが、まだ満足すべき説明を与えるものがない。

最近のこの部門における研究で最も注目されるのは STAMM 及びその共同研究者による報告であろう。STAMM¹⁾ が1946年木材中の水分の移動を電流と同じ取扱い方によつて、ミクロ及びマクロな細胞組織を直列と並列に組合せて拡散係数を導出したのは有名であるが、彼はその後、細胞膜中における水分通導の正しい値をうるために細胞腔内を熔融金属によつてみだし、細胞膜内の水の移動を測定し²⁾³⁾、Sitka spruce 内の結合水と水蒸気拡散を論じ⁴⁾、さらに新しい拡散係数の理論式を導出している⁵⁾。一方彼は TARKOW と共に針葉樹細胞膜毛細管を通る炭酸ガスの拡散係数を測定して、細胞組織中でどの部分が水分の拡散に対して最も大きな役割を果しているかを見出そうとし⁶⁾、低含水率領域における横方向の水分移動は主として水蒸気拡散によつて行われると推論した⁷⁾。

また横田は細胞腔内をパラフィンで封じた資料によつて、脱着過程における細胞膜内の水の拡散を測定し⁸⁾、拡散係数と水分濃度の関係を明かにしている⁹⁾¹⁰⁾。以上を含めて最近の研究は主として最も確からしい拡散係数の測定とこれに影響を与える因子の解明について努力が払われている。すなわち CHOOG¹¹⁾ は針葉樹の感湿領域における細胞膜中の結合水の拡散係数及び木材中の結合水と水蒸気移動のメカニズムとこれに関与する因子について、また COMSTOCK¹²⁾ は脱湿、吸着及び定常態における測定結果から拡散係数を求めて、これらを比較し、HART¹³⁾ は木材中の水分移動に関与する主要因子について報告している。

* 木質材料研究部門, Division of Composite Wood

細胞腔内または相互間の自由水の通導については乾燥の立場よりもむしろ薬剤注入の立場から研究されているものが多い。その内の主なものをあげると、木材組織と浸透性については JAYME ら¹⁴⁾、STEMSRUD¹⁵⁾、及び WARDROP ら¹⁶⁾の研究、Douglas fir 心材の浸透性については ERICKSON ら¹⁷⁾の研究があり、また KRAHMER¹⁸⁾は繊維が長く、春材では lumen area が大きく断面が六角形に近いものが浸透性がよく、断面が四角に近く、半径壁に単列の有縁膜孔の多い材は浸透性が悪いことをみとめている。この外、KELSO ら¹⁹⁾の浸透性に対する空気障害 (air blockage) の影響、KRAHMER²⁰⁾らの2, 3の針葉樹の仮導管間の液体の流れについての顕微鏡的観察などの研究をあげることができよう。

水分移動の研究について活発な研究の行なわれているのは **collapse** の関係分野であろう。ここでは、特に ELLWOOD らの一連の報告が目につく。彼らはまず、表面張力の低い液体が本質的に collapse を減少させることから、この欠点の起りやすい California black oak, Pacific madrone 中の水分を表面張力の低い種々の有機液体でおきかえ、乾燥させた結果、ethylene glycol, monoethyl ether, metanol, ethanol 処理したものが最も collapse が少なく、zinc chloride solution や薄い acetic acid 処理のものは全く collapse の減少をみとめえなかつた。彼らはこの結果から collapse 発生のメカニズムを論じ²¹⁾、さらに同一樹種中の水分を monoethyl ether や *n*-propyl alcohol の種々の濃度におきかえ、これが **collapse** や収縮に及ぼす影響をみると共に²²⁾、水分のみの場合半径方向における collapse や収縮は温度 (110~276°F) と共にますが、上記の有機液体で置換した場合温度依存性がなくなること²³⁾、アルカリ性や酸性の液は表面張力と無関係に木材繊維をおかし、collapse を増加させること²⁴⁾を明かにしている。また *Eucalyptus* を薄い塩酸や塩化ナトリウム塩溶液で処理した場合、前者では collapse が減少しないが、その回復が減ずること、後者では全収縮量が低下することが報告されている²⁵⁾。この外、1960年 KAUMAN²⁶⁾は液の表面張力と乾燥応力が collapse に与える影響を調べ、*Eucalyptus* の乾燥初期温度 (60°~80°C) が高いほど collapse が甚しくその回復が少ないこと、温度が高く加熱時間が長いほど木材の酸性がまし、ある限度迄 collapse による収縮が酸性の増加に比例することを見出し²⁷⁾、また最近 collapse の起りやすい材では初期乾燥温度が 60°C 以下でも、その危険性があることを報告している²⁸⁾。一方 PANKEVICIUS²⁹⁾は *Eucalyptus* では樹高が高いほど collapse の回復性が低いことをみいだしている。

Collapse に関連して **収縮** 及びこれに関与する因子についての研究も盛である。その内の主なものをピックアップすると KEYLWERTH は木材が free shrink する場合、普通の含水率範囲では収縮はほぼ一定であるが、低含水率領域では含水率に依存し、その程度が半径面と切線面で相違すること³⁰⁾、や木材乾燥の場合のように水分傾斜や応力集中によつて収縮が拘束される場合についての測定結果を報告し³¹⁾、STEVENS³²⁾は収縮率が温度と共にまし、乾燥速度と共に減少すること及び含水率30%附近では収縮率は水分蒸発量にほぼ比例するが、25%以下になると温度や乾燥速度依存性が消失することを見とめている。この外、California black oak の収縮と乾燥速度及び温度との関係³³⁾、エゾマツの比較的高温乾燥 (80~100°C) における乾燥条件と乾燥速度及び収縮率との関係³⁴⁾、乾燥中の細胞腔及び細胞膜の変化、有機液体の細胞腔、細胞膜の収縮に対する顕微鏡的観察³⁵⁾、或は Fichte, Buche 及び Buchen Press Vollholz の収縮膨張に関する研究³⁶⁾などがあげられる。

乾燥中木材に生ずる **Drying stress** については従来、(1) 1 次膜や 2 次膜の不均一な収縮によつて生ずる 1 次応力、(2) 異種細胞間の収縮の不均一さによつて生ずる 2 次応力、(3) 水分傾斜にもとづく、表面硬化型の 3 次応力にわけて考察され、creep や relaxation も又収縮や drying stress に関係すると考えられている。この方面の研究は従来からもあまり多くないが、まず SCHNIEWIND ら³⁷⁾ は California black oak の髄線と紡錘組織の間に生ずる 2 次応力について論じ、立木ではこの種の応力は、髄線に引張、紡錘組織に圧縮の形で発生しているが、繊維飽和点以下に乾燥されるとこの関係が逆転すること、髄線の応力は含水率に依存し 6~14% で最大になることを報じており、この種の応力を定量的に取扱つたものとして注目に値する。CECH³⁸⁾ は高温乾燥 (220°F) における yellow birch 心材の繊維に垂直な圧縮、引張強度について調査すると共に、生材から直接高温乾燥した場合よりも、予備乾燥後高温乾燥にはいつた方が木材外層の tension set が大きいことを見出し、KUBLER^{39) 40)} は単板や薄い板材の乾燥に際して生ずる drying stress の基礎的な研究を行ない、単板乾燥でも素材と同様な表面硬化が起り、合板の品質に影響することが大きいから stress relief をする必要があることを述べている。日本では福山⁴¹⁾ の drying stress 及びこれに関連する木材々質についての報告がある。

乾燥温度が材質に及ぼす影響については従来多くの研究報告があり、その結論に多少の食い違いはあるが、一般には高温にさらされる時間が普通の乾燥温度にさらされる時間の 1/2 以下であれば、大部分の強度的性質は實際上ほとんど影響をうけないが、湿度の増加は材質の劣化を促進するといわれている。ANDERSON ら⁴²⁾ は red wood の心材中に存在する水溶性の polyphenolic (nontannin) な、ある種の耐候性の強い成分が溶出すると材の耐候性を劣化することから、種々の乾燥条件がこれにどのように影響するかを調べ、人工乾燥または天然乾燥と人工乾燥を組合せたような条件ではわずかに耐候性がおちるが、presteaming や solvent drying の条件を与えると耐候性がかなり劣化することをみとめている。また一般に Western hemlock は高温による強度損失が少ないといわれているが、SALAMON⁴³⁾ によると Douglas fir は乾球 220°F、湿球 170~200°F の混合高温蒸気にさらされた場合よりも、220°F の過熱蒸気乾燥の場合の材の劣化が大きく、特に 225°F 以上では甚しい。混合高温蒸気にさらされた場合、弾性係数、比例限度、曲げ強度、圧縮強度は普通の乾燥温度の場合よりも数% から十数% その値が低下し、また密度の高い樹種ほど劣化が大きいことがみとめられた。

水分計に関する基礎研究としては PRESTON⁴⁴⁾、上村^{45) 46)} の報告、あるいは SKAAR⁴⁷⁾ の乾燥中の水分々布を求めるための電気水分計の読みに影響する諸因子、とくに温度や polarization についての報文がある。新しい水分計としては NOACK ら⁴⁸⁾ が radio isotope による水分計を提案している。この測定法の特長は高含水率領域の測定が可能なことであるが、木材の比重や収縮の影響を調整する必要があるといわれる。また高揮発性成分による含水率測定法⁴⁹⁾ も提案されている。

平衡含水率に関しては、温、湿度、乾湿球温度差、蒸気圧、降雨量、風などの諸因子を含めた含水率表が作られている⁵⁰⁾。

この外、寺沢ら⁵¹⁾ は主要樹種について、乾燥速度と木取り、比重及び年輪巾の関係、収縮率と木取りの関係など調査報告している。

乾燥技術と直接関連した**応用研究**としては、まず McMAHON⁵²⁾ の**サンプルボード**に累積度

数分布を応用して棧積内の含水率の分布をより正確に求める提案が注目される。**Presteam**ingの効果については現在なお賛否両論があるが、CAMPBELL⁵³⁾⁵⁴⁾はオーストラリア産 *Eucalyptus* の乾燥困難な樹種に2~4時間の **presteaming** をすると、乾燥速度をはやめ、全般的に乾燥による損傷を減少するが、collapseを生じやすい樹種では **presteaming** の効果がほとんど認められないことを報じている。

Redwoodの生材に生ずる brown stain は水溶性の tannin-polyphenolic な抽出成分によるもので、乾燥スケジュールの調節ではこの発生を防止できないが、2~4時間の **presteaming** はこの防止に有効であり、Steamingの時間が長すぎると collapseを生ずるおそれがあり、短かすぎるとその効果が少ない⁵⁵⁾。

また redwood はよく塗装後 coating を通して抽出物による特有の stain を生ずることがあるが **presteaming** はこれを防止するのにも有効である⁵⁶⁾。

現行の**イコーライジング**は最乾サンプルボードが予定含水率に達した時、これより約2%低い平衡条件で最湿サンプルを予定含水率迄下げる方法をとっているが、棧積の初期含水率のばらつきが大きい場合、この方法はとくに時間がかかる。NELSON⁵⁷⁾はこれを改善するためには、さらに予定含水率より下げて吸湿条件でイコーライジングするのが有利であると提案している。**コンディショニング**において表面硬化型の乾燥応力の除去に対する温度の効果については今日まで多くの研究があり、温度が高いほど効果があるとされているが、実際の乾燥操作ではコンディショニングに移るときの温度は乾燥温度そのままの場合が多い。NELSON⁵⁸⁾はコンディショニングに当つて温度変化を与えると、木材表面が吸湿膨張せんとして圧縮応力をうけ、かつ水分増加による弾性係数の低下によつて、圧縮歪が増し、引張歪を転換消滅させ、応力の解消が短時間に行なわれることを実験的に確かめており、七沢の応力を除く乾燥法についての一連の報告⁵⁹⁾⁶⁰⁾も興味ふかい。また乾燥スケジュールの改善も逐次行われている^{61)~66)}。この外熱気乾燥関係では、風速の影響⁶⁷⁾、熱気を板面に垂直にあてた場合の乾燥特性⁶⁸⁾、棧木ずれによる板の反り⁶⁹⁾、棧積内の乾燥むら⁷⁰⁾、応力除去法⁷¹⁾、乾燥室内の風速、風圧の分布⁷²⁾、板の変形と乾燥温度及び調湿処理の関係⁷³⁾、荷重による板の撓みと温度、含水率の関係⁷⁴⁾など、また高温乾燥関係では過熱蒸気による大気圧以下の広葉樹の乾燥⁷⁵⁾、乾燥特性と収縮⁷⁶⁾、高温蒸気乾燥における熱伝達⁷⁷⁾などの研究報告があげられ、解説図書としては“Dry kiln, operator's manual”⁷⁸⁾や“木材の乾燥”⁷⁹⁾などがある。

Eastern white pine, sugar pine, Idaho white pine, hemlock (特に辺材)、日本ではマツ、ブナ、ハンノキなどは天然乾燥の初期に **brown stain** や **blue stain** を生じやすいが、STRUTZ⁸⁰⁾はこの防止策として Bazide〔筆者註、sodium azide が主成分らしい〕、Permattox, Timsan〔筆者註、P. C. P. が主成分〕の混合液使用が有効であることを確認して、次第に実施にうつされ、歩止り向上に大きな効果をあげているといわれる。また EVANS⁸¹⁾は brown stain を生じやすい材は leucoanthocyanin を多く含み、これが *Bacillus* 属のバクテリアの出す酵素にふれて沈殿し、可溶性ポリマーとなる。このポリマーが stain の前駆で、木材が乾燥するに従つて水分と共に木材表面に移動して空気にふれ、brown polymer となる。Thiourea stain はこの可溶性ポリマーの酸化を阻害し防止に役立つと報告している。

棧積中の**反り**の防止には普通棧木を適当に配置し棧積トップに錘をつけるかまたは綱で押えをおくのが常識である。STEVENS⁸²⁾の実験によると、錘の効果は樹種により異なり、beech

が mahogany よりよく、生材は予備乾燥材より、高温は低湿よりよく、とくに旋回木理のそり防止に有効である。オーストラリアでは⁸³⁾ *Pinus radiata* のそりが大きく、とくに pith を含む材はミセル傾斜角が大きく、旋回木理のため反りやすいので、この防止策として (1) 1平方フィートにつき100ポンドの錘をのせる (2) 乾燥末期には4時間の飽和蒸煮を行ない再乾燥する (3) 板の必要巾の倍数巾で乾燥した後小割するなどの方法がとられている。また KNAUSS⁸⁴⁾ は Ponderosa pine, Douglas fir, western hemlock の熱気乾燥において、そりや割れなどの損傷を材の品等別に分析している。この外、割れの原因やこれに関与する因子についての研究としては水平組織である髄線と垂直組織である紡錘組織間の応力集中による割れ発生メカニズム⁸⁵⁾、水性、油性防腐処理材の割れ発生と水分の移動⁸⁶⁾ があり、GABY⁸⁷⁾ は oak のような髄線の多い生材をプレーナーや帯鋸で表面加工した場合は、丸鋸の場合より表面割れが少ないこと、帯鋸や丸鋸による表面加工材の乾燥割れの内の大部分は髄線の破壊が原因で、これが表面割れに移行することを明らかにしている。

各種乾燥法の展望

天然乾燥

数年来各国共に天然乾燥が再認識され、その技術も逐次改善されつつあるが、それでもなお棧積のレイアウト、基礎の設定、棧木の取扱いなどに不適当なものが少なくないようである。天然乾燥で現在最も重視されている問題は、歩止りの向上と乾燥時間の短縮であろう。棧積の上に屋根が無い場合は上部2、3段の板の損傷が甚しく、このため歩止りが激減する。また屋根が不完全なための歩止りの損失は棧積当り数%から十数%以上にも達するといわれており、このため現在天然乾燥の最も盛んなアメリカでは棧積上に低価格で完全な屋根をつけることが強調されており、wax emulsion type の end coating も歩止り向上に効果をあげている。棧木の厚さについても論議されているが、これについてはまだはつきりした結論が出されていない。

乾燥初期に発生する brown stain や blue stain の防止については Bazide⁸⁸⁾ や Permatox 等の薬剤処理が実際に効果をあげていることは前述の通りである。丸太の天然乾燥についての文献は非常に少ない⁸⁹⁾。

強制循環天然乾燥 (Forced air drying)

アメリカで forced air drying が実用化されたのは1958年頃で、その後数年の間に急速な発展をみた。その形式は単に戸外の棧積にカンバス、バッフ、ファンを取付けた簡単なものから、屋根、かこい、補助ヒーター、ファン及び簡単な自動制御装置をとりつけた半永久的なものまであり、夏期や温度の高い季節には問題なく有利であるとされ、均一な乾燥と乾燥時間の短縮に効果をあげている。しかし一般に 70°F が最適で、あまり高温では調湿装置が必要となり乾燥費が高くなる。現在この方法の最も普及している地区はアメリカの南部及び中西部で、その他の地区や国ではそれほど普及していない。したがって現業報告も比較的少ないがその主なものをピックアップすると

(1) Oak や gum の枕木では天然乾燥の約 1/3 の時間短縮が可能である。

(2) 厚さ1"の soft maple の含水率を18~20%まで乾燥するための所要日数は乾燥期で約10日、湿潤期ではほぼその2倍である。

(3) 屋根, かこい, 補助ヒーターをつけた比較的設備のよい装置で1'~2.5' 厚の magnolia を乾燥する場合, 経済性をも考えた最適材間風速は 500~600 ft/min である。

(4) 棧積の巾は初期含水率の均一性に関係し, ヒーターのない場合は 10 ft が限度である。

(5) 天然乾燥よりも乾燥時間を短縮するためには, 最低 70~80°F が必要で, とくに繊維飽和点以下ではこの条件が重要である。

(6) ある種の樹種では補助ヒーターを用い 90°F で乾燥すると損傷が少なく材の色調もよい。

ことなどがあげられている。

要するに現在なお試験的段階であり, 次のような点でまだ問題を残している。

- (1) 均一乾燥, 歩止りの点で果してどの程度天然乾燥より有利であるか,
- (2) 広葉樹や乾燥の遅い材に対して有利かどうか,
- (3) 空気通路が長い場合, 適当な乾湿球温度差を維持するために補助ヒーターを使用すべきか否か,
- (4) 高い湿度や冬期低温の場合補助ヒーターを設備すべきか否か,
- (5) ヒーターを使用する場合, 空気の再循環が有利かどうか,
- (6) 人工乾燥へ移行する場合, どの辺が経済的に有利か。

熱気乾燥

熱気乾燥では棧積の機械化, 歩止りの向上, 最終含水率の調整法などに努力が払われている。保温性のよいアルミパネルを使用した組立式乾燥室や unit package type の乾燥室がますます普及してきている。燃焼ガスタイプの乾燥室は initial cost が安く操作も楽なため注目されているがまだ試験的範囲を出ていないようである。材間風速もまし, 1960年には米国林産試験場から, 針葉樹の新しい Time Schedule が発表されている⁶¹⁾。既述の McMAHON が提案した累積度数分布曲線による棧積内の水分分布測定法⁶²⁾は今後より正確な含水率推定に役立つであろう。丸太の乾燥法としては, これを水平に並べ水平気流をあてる人工乾燥法も試みられているが, 天然乾燥の場合と同様まだよい方法は見付けられていない。

高温乾燥

この方面の研究は活発であるが, 表面硬化, 内部割れ, あるいは乾燥終了時の水分傾斜などにまだ問題があり, 経済的にも普通法と比較して有利か否か結論がつかかねるため, 工業的にはいま一步という感がある。

然しながら Douglas fir, larch, ponderosa pine, hemlock, red cedar などの針葉樹は全乾燥期間中, 190~210°F の高温を用いても材の強度低下をきたすこともなく, 防腐剤注入の前処理としての lodgepole pine, western larch の丸太の乾燥に 180~200°F の高温乾燥を行なうと (2~3時間), 割れが少なく, よい結果がえられているので⁶³⁾, 薬剤注入の前処理としての可能性もある。広葉樹も含水率50%まで中温で乾燥すれば, その後高温を用いても乾燥仕上りがよいといわれ, gum, oak, sugar maple の枕木の場合小さい表面割れが均等に発生するが, 大きな割れが少なく結果的には成功しているという報告もある。

高周波乾燥

試験的には盛んに行なわれ, また一部の家具工場では工業的に成功しているともいわれている。

るが大規模なものはない。

化学乾燥

溶剤または油類による乾燥はもともと主に電柱や枕木などの防腐剤注入の前処理として開発されたものであるが、この外浸透性の悪い乾燥困難な材や木材からの抽出物を利用する場合の乾燥法としても有望である。化学乾燥に最もよく使用されている acetone による最近の例としては ANDERSON らの tanoak⁹⁰⁾、および redwood⁹¹⁾⁹²⁾ に関するものがある。MARONEY⁹³⁾ は chlorinated hydrocarbon や perchloroethylene の共沸混合液によつて walnut, redwood, maple, oak, birch などの広葉樹の乾燥試験を行ないユニークな結果を得ている。

Polyethylene glycol は木材の寸法安定剤として使用されるが、乾燥困難な材の前処理薬剤としても有効である。たとえば、MITCHELL⁹⁴⁾ は彫刻用厚板をこの 30% 溶液中に浸漬して glycol 約 10% を吸収させた後、普通の熱気乾燥を行なうと割れ防止に著しく有効であり、樹種に応じてその吸収量をかえると好結果がえられると報告している。また oak は天然乾燥中初期に著しく表面割れを生じがちであるが、polyethylene glycol で表面処理をした場合、これを防止しかつ内部水分の拡散を促進することが確められた⁹⁵⁾。

食塩乾燥法は我が国では行なわれていないが、1年を通じて湿度の低い地区ではよく行なわれている。HAYGREEN⁹⁶⁾ は食塩処理材を熱気乾燥した場合の応力分布が、無処理の場合より緩慢であることを見出し、食塩濃度と表面硬化、乾燥時間及び乾燥スケジュールとの関係を調べた。この外液状ワセリン (petrolatum) で高温乾燥 (100°C 以上) した場合、材の内部温度は普通法の場合と変らなく、その弾性係数がかえつて増加するといわれ、redwood の methanol 乾燥と acetone 乾燥の比較例も報告されている。

太陽熱利用乾燥 (Solar drying)

木材乾燥に太陽熱を利用しようとする試みは、すでに1956年頃からはじめられていたが、その効果が地区的または時間的にごく限られた範囲にしか期待できないため、現在なお試験的段階を出ていない⁹⁷⁾⁹⁸⁾。試験用乾燥室は普通屋根及び壁を透明なプラスチックシートで作り、太陽光線を室内に通過させ、かつ内部からの熱の放散を防止し、中には黒体の壁を2重にはつて1時的ではあるが蓄熱の効果をあげているものもあり、通常ファンを備えて室内の温湿度をある程度調整するように作られている。

Solar drying の効果に最も影響する因子は日照時間と戸外温度で、降雨量や風は直接には殆んど影響しない。若干の試験結果によると戸外温度が比較的到低い春秋に効果的であるが、冬期は低温のため補助ヒーターをつける必要があり、夏期は過熱のためそのままでは材の損傷が大きいので反対に太陽光線を遮断する必要がある。

成績のよい春秋では、天然乾燥に比較して乾燥時間が 1/2 から 2/3 に短縮でき、歩止りもよいという結論が多く、経済的には天然乾燥とあまり差がないが、歩止りの向上分だけ有利であるという見方もある。しかし、いづれにしてもやはり天候に支配される程度が大きく、計画性と経済性をもたせるためには、強制循環天然乾燥とかなり共通した悩みをもっているという事が出来よう。

文 献

-) STAMM, A. J., U. S. Dept. Agric. Techn. Bull. No. 929 (1946).

- 2) STAMM, A. J., For. Prod. J. **9**, 27 (1959).
- 3) STAMM, A. J., For. Prod. J. **10**, 524 (1960).
- 4) STAMM, A. J., For. Prod. J. **10**, 644 (1960).
- 5) STAMM, A. J. & NELSON, R. M. Jr., For. Prod. J. **11**, 536 (1961).
- 6) TARKOW, H. & STAMM, A. J., For. Prod. J. **10**, 247 (1960).
- 7) TARKOW, H. & STAMM, A. J., For. Prod. J. **10**, 323 (1960).
- 8) 横田徳郎, 木材誌 **5**, 143 (1959) .
- 9) 横田徳郎, 木材誌 **8**, 192 (1962) .
- 10) 横田徳郎, 後藤君子: 林誌研報 No. 153, 45 (1963).
- 11) CHOOG, E. T., For. Prod. J. **13**, 489 (1963).
- 12) COMSTOCK, G. L., For. Prod. J. **13**, 97 (1963).
- 13) HART, C. A., For. Prod. J. **14**, 207 (1964).
- 14) JAYME, G. & FENGEL, D., Holz als Roh- und Werkstoff **17**, 226 (1959).
- 15) STEMSRUD, F., Holzforschung **13**, 16 (1959).
- 16) WARDROP, A. B. & DAVIES, G. W., Holzforschung **15**, 129 (1961).
- 17) ERICKSON, H. D. & ESTEP, E. M., For. Prod. J. **12**, 313 (1962).
- 18) KRAHMER, R. L., For. Prod. J. **11**, 439 (1961).
- 19) KELSO, W. C. Jr. & Others, Univ. Minn. Agr. Expt. Sta. Techn. Bull. No. 242 (1963).
- 20) KRAHMER, R. L. & CÔTÉ, W. A. Jr., Tappi **46**, 42 (1963).
- 21) ELLWOOD, E. L. & Others, For. Prod. J. **10**, 8 (1960).
- 22) ELLWOOD, E. L. & ECKLUND, B. A., For. Prod. J. **13**, 291 (1963).
- 23) ELLWOOD, E. L. & ECKLUND, B. A., For. Prod. J. **13**, 350 (1963).
- 24) ELLWOOD, E. L. & Others, For. Prod. J. **13**, 401 (1963).
- 25) PANKEVICIUS, E. R., For. Prod. J. **12**, 39 (1962).
- 26) KAUMAN, W. G., Aust. J. of Appl. Sci. **11**, 122 (1960).
- 27) KAUMAN, W. G., For. Prod. J. **11**, 445 (1961).
- 28) KAUMAN, W. G., Holz als Roh- und Werkstoff **22**, 183 (1964).
- 29) PANKEVICIUS, E. R., For. Prod. J. **11**, 131 (1961).
- 30) KEYLWERTH, R., Holz als Roh- und Werkstoff **20**, 252 (1962).
- 31) KEYLWERTH, R., Holz als Roh- und Werkstoff **20**, 292 (1962).
- 32) STEVENS, W. C., For. Prod. J. **13**, 386 (1963).
- 33) SCHNIEWIND, A. P. & KERSAVAGE, P. C., For. Prod. J. **12**, 29 (1962).
- 34) 中川宏その他, 北林指月報 No. 126, 12 (1962).
- 35) ELLWOOD, E. L. & Wilcox, W. W., For. Prod. J. **12**, 235 (1962).
- 36) WEICHERT, L., Holz als Roh und Werkstoff **21**, 290 (1963).
- 37) SCHNIEWIND, A. P. & Kersavage, P. C., For. Prod. J. **11**, 523 (1961).
- 38) CECH, M. Y., For. Prod. J. **14**, 69 (1964).
- 39) KÜBLER, H., U. S. For. Prod. Lab. Rept. No. 2164 (1960).
- 40) KÜBLER, H., For. Prod. J. **11**, 324 (1961).
- 41) 福山万次郎, 京府大学報農学 No. 14 **85** 92 (1962).
- 42) ANDERSON, A. B. & Others, For. Prod. J. **12**, 7 (1962).
- 43) SALAMON, M., For. Prod. J. **13**, 339 (1963).
- 44) PRESTON, R. W., Can. For. Prod. Lab. Techn. Note No. 16 (1960).
- 45) 上村武, 斎藤寿義, 林誌研報 No. 113, 169 (1959).
- 46) 上村武, 林誌研報 No. 119, 95 (1960).
- 47) SKAAR, C., For. Prod. J. **14**, 239 (1964).
- 48) NOACK, D. & KLEUTERS, W., Holz als Roh- und Werkstoff **18** : 304 (1960).
- 49) RESCH, H. & ECKLUND, B. A., For. Prod. J. **13**, 481 (1963).
- 50) FINIGHAN, R., C. S. I. R. O. For. Prod. Newslet. No. 252 (1959).
- 51) 寺沢真その他, 林誌研報 No. 153, 15 (1963).
- 52) MCMAHON, E., For. Prod. J. **11**, 133 (1961).
- 53) CAMBEL, G. S., C. S. I. R. O. For. Prod. Newslet. No. 263 (1960).
- 54) CAMBEL, G. S., For. Prod. J. **11**, 343 (1961).

- 55) ANDERSON, A. B. & Others, For. Prod. J. **10**, 212 (1960).
- 56) ELLWOOD, E. L. & ERICKSON, R. W., For. Prod. J. **12**, 328 (1962).
- 57) NELSON, D. E., For. Prod. J. **12**, 24 (1962).
- 58) NELSON, D. E., For. Prod. J. **13**, 124 (1963).
- 59) 七沢喜男, 木材工業 **15**, 58, 121, 278, 380 (1960) .
- 60) 七沢喜男, 木材工業 **17**, 51, 107, 358 (1962) .
- 61) U. S. For. Prod. Lab. Rept. No. 1900~5 (1960).
- 62) 野間達一, 木材工業 **16**, 469 (1961) .
- 63) 野間達一, 木材工業 **17**, 68, 562 (1962) .
- 64) 寺沢真, 小玉牧夫, 林試研報 No. 135, 103 (1962).
- 65) 寺沢真, 木材工業 **19**, 250 (1964) .
- 66) OBERG, J. C., For. Prod. J. **14**, 10 (1964).
- 67) KOLLMANN, F. & SCHNEIDER, A., Holz als Roh- und Werkstoff **18**, 81 (1960).
- 68) GARDNER, T. A., Tappi **43**, 796 (1960).
- 69) 中川宏, その他, 北林指月報 No. 116, 9 (1961).
- 70) 寺沢真, その他, 林試研報 No. 143, 157 (1962).
- 71) 小倉武夫, その他, 林試研報 No. 150, 1 (1963).
- 72) 寺沢真, その他, 林試研報 No. 150, 33 (1963).
- 73) 中川宏, その他, 北林指研報 No. 33 (1964).
- 74) 中川宏, 北林試研報 No. 35 (1964).
- 75) MALMQUIST, L. & NOACK, D., Holz als Roh- und Werkstoff **18**, 171 (1960).
- 76) HANN, R. A., For. Prod. J. **14**, 215 (1964).
- 77) MALMQUIST, L. & MEICHNER, H., Holz als Roh- und Werkstoff **22**, 95 (1964).
- 78) U. S. For. Service, Agric., Handbook No. 188 (1961).
- 79) 満久崇磨著, 木材の乾燥, 森北出版KK (1962) .
- 80) STUTZ, R. E. & Others, For. Prod. J. **11**, 258 (1961).
- 81) EVANS, R. S. & HALVORSON, H. N., For. Prod. J. **12**, 367 (1962).
- 82) STEVENS, W. C., For. Prod. J. **11**, 8 (1961).
- 83) ELLWOOD, E. L., For. Prod. J. **11**, 61 (1961).
- 84) KNAUSS, A. C., For. Prod. J. **12**, 34 (1962).
- 85) SCHNIEWIND, A. P., For. Prod. J. **13**, 475 (1963).
- 86) BAVENDANN, W. & Others, Holz als Roh- und Werkstoff **21**, 369 (1963).
- 87) GABY, L. I., For. Prod. J. **13**, 529 (1963).
- 88) 服部守一, 木材誌 **5**, 108 (1959) .
- 89) LOWERY, D. P. & RASMUSSEN, E. F., For. Prod. J. **13**, 221 (1963).
- 90) ANDERSON, A. B. & FEARING, W. B., For. Prod. J. **10**, 234 (1960).
- 91) ANDERSON, A. B. & FEARING, W. B., For. Prod. J. **11**, 240 (1961).
- 92) ANDERSON, A. B. & Others, For. Prod. J. **12**, 493 (1962).
- 93) MARONEY, W. H., For. Prod. J. **12**, 7 (1962).
- 94) MITCHELL, H. L., For. Prod. **11**, 7 (1961).
- 95) HUBER, H. A. & KLIMASZEWSKI, A. W., For. Prod. J. **13**, 439(1963).
- 96) HAYGREEN, J. G., For. Prod. J. **12**, 11 (1962).
- 97) PECK, E. C., For. Prod. J. **12**, 103 (1962).
- 98) MALDONADO, E. D. & PECK, E. C., For. Prod. J. **12**, 487 (1962).