

木材乾燥の新方式 (第三報)

中 川 宏

I、緒 言

木材乾燥の工程を時間的にみた場合、その単位は日数 (Days) を以って表現しているのが現状である。木材加工工場内の材料の流れの諸工程の中で、その単位が日 (Days) であるのは木材乾燥だけで、屢々この工程が時間的障害やネックになる事が多く、その為に関係工程の諸経費にまで影響し製品のコスト高を招来する事が多い。従ってこの乾燥時間を短縮する事は従来から関係者から強く要望されている課題であるし、又洋の東西において研究されている事でもある。

言うまでもなく木材の乾燥材構は

- a) 表面蒸発
- b) 内部水分の移動

によって行われていると考えられる。内部水分の移動の状態として

- 1) 繊維飽和点以上では毛細管力による自由水の移動
- 2) 繊維飽和点以下では水分傾屯斜による結合水の移動
- 3) 全含水率区間では蒸気圧傾屯斜による水蒸気の移動

に基くものと従来からの研究者によつて明かにされている。この水分の移動状態は毛細管力によるものを除いては、何れも温度の上昇に伴い、大きな作用をなしている。毛細管力による移動の温度上昇に伴う作用の低下はあるが、温度上昇に伴う液体粘度の低下による内部拡散の増大はそれを僅少な割合にするので全体的には殆んど影響がなく乾燥速度はかへって増大するそして内部水分の移動は材温が高い事によつて大きくなり材温の上昇は加熱時において、空気温度が高い事と同時に関係温度の大きい事によつて時間的に著しく短縮される (Fig 1 ~ Fig 5)

100°C以上の高温下では乾燥時間が短縮される事はさきに (月報 46, 6) その概要を述べたし、小倉氏、平井氏等が欧州の實際のものをみて御紹介されている何れにしても実験的にも、又それからの理論からしても100°C以上では乾燥速度は増大し、木材内部の水分

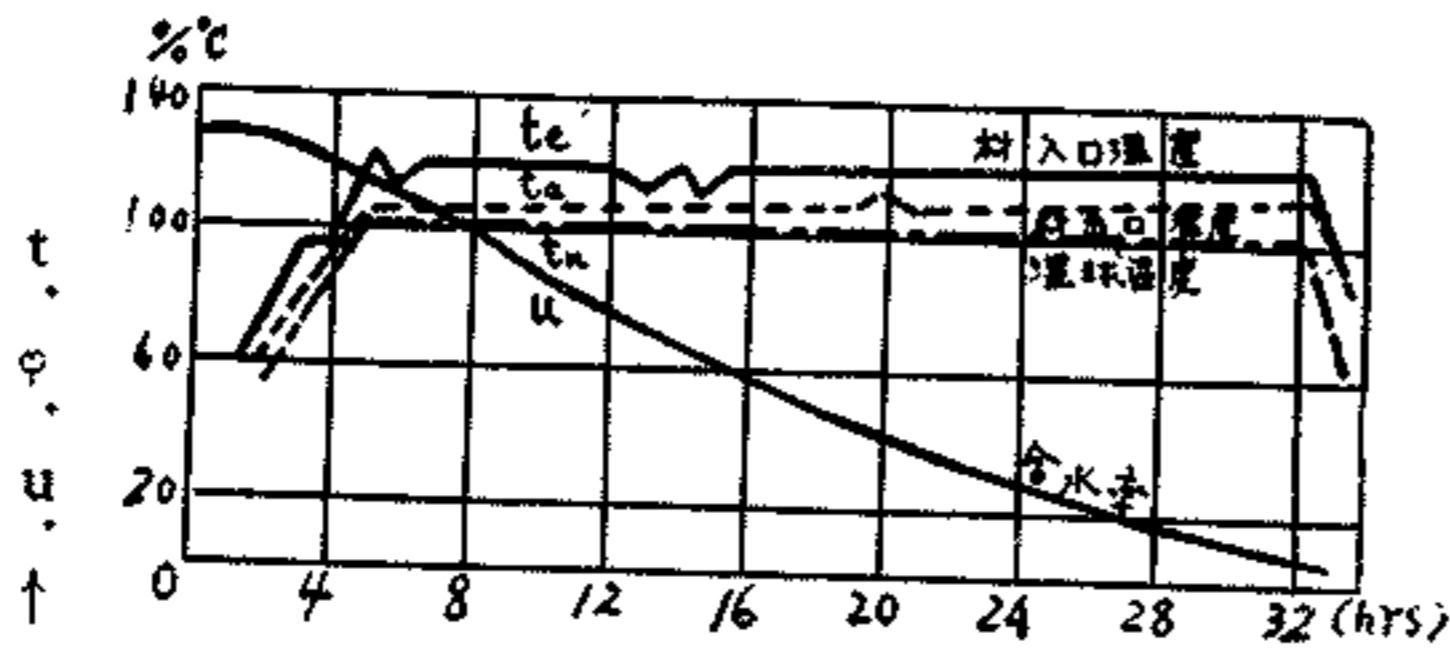
移動は液相としてではなく、気相として移動すると考えられている。

かゝる水分移動の状態に基き100°C以上の木材乾燥は研究が重ねられ実用の域に達している。この研究の歴史は案外古く、1867年にU.S.AのAllenとCampbellの両氏、1918年にTiemann氏がPatentをとつており、その後構造材料の問題で中断されたが、1930年にStuttgart(ドイツ国)で高温処理とその品質につき、又1940年にFischerとCzepeckの両氏により100°C以上の高温乾燥を試験研究して新分野を開拓し、第二次大戦で一端中断されたが、再びEgner, Eisenmann, Keyiwerthの各氏により100°C以上の高温乾燥が実用出来るまでに確立され、装置製造業者Hildebrand, Kiefer, Schildeの各社によつてこの乾燥条件を棧積断面に均等に与えられる構造と耐熱湿性材料で構成された乾燥機を市場に提供しているEgner氏等による研究では被乾燥材は針葉樹が主で闊葉樹では100°C以上の条件を与えるに至っていない。例えばブナ材を対照材にした場合含水率30%以下のものでないと諸種の乾燥欠陥を発生せずには困難であると報じている。

欧州方面では針葉樹材も乾燥材にしてかなり使用されているらしいが本邦にあつては乾燥材として使用するのは、殆んど闊葉樹材などで高温による乾燥も又それだけ品質の点から考えねばならない事が多い。しかし、高温の使用によりいかに乾燥するか、又、外国の例と比べていかに相違するかを見出すために100°C以上及従来よりも高温で乾燥試験を行い乾燥の可否と時間の短縮がいかになるか試験をした。

II、試験と考察

試験装置は実験用というよりむしろ小規模の生産用のもので、ドイツ国より輸入せる75 (22頁に続く)



→ 0 Fig 6

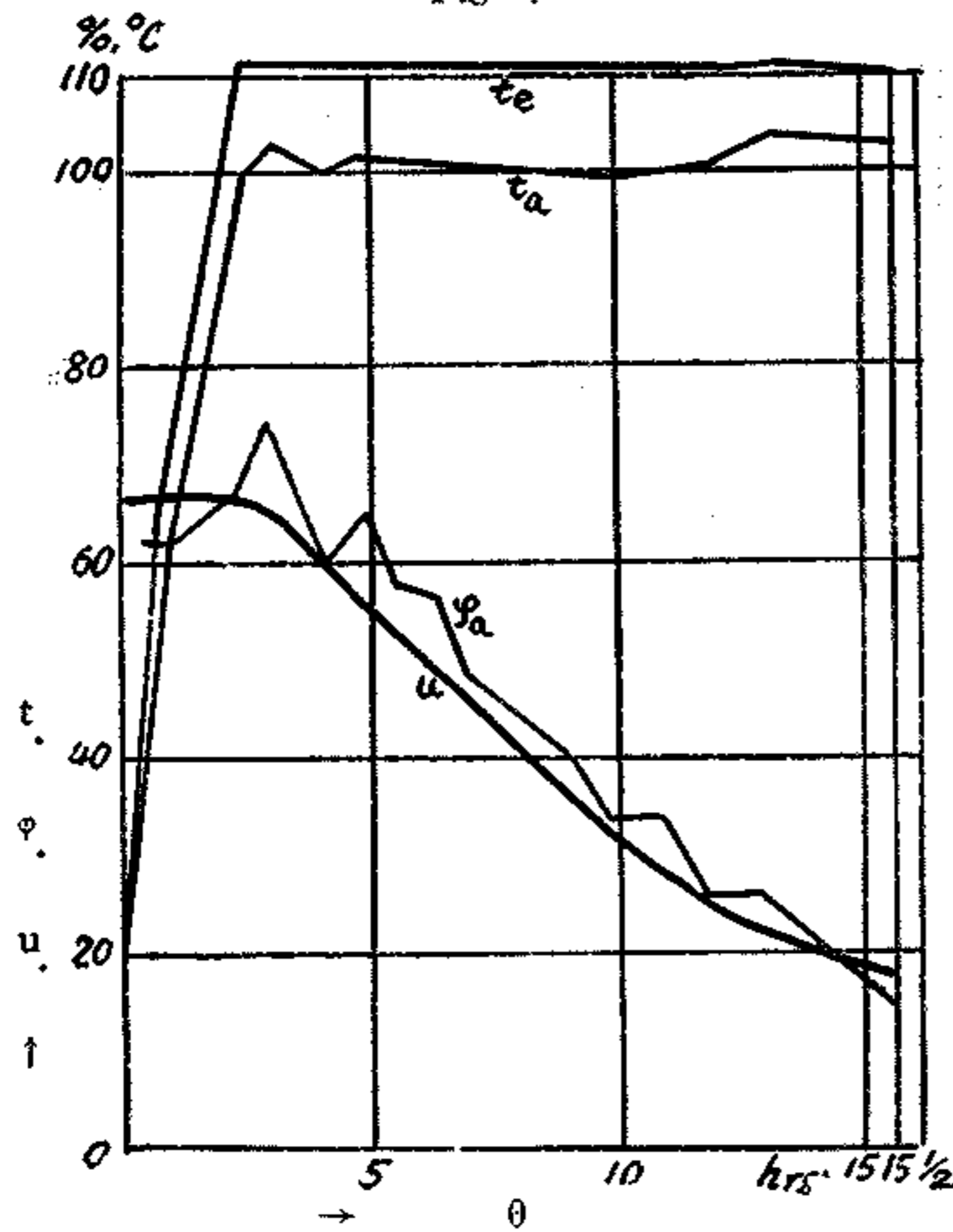
マツ 24mm厚加熱蒸気乾燥経過 (定温、湿)
(Keylwerth氏による)

外国 (主としてドイツ) における乾燥経過図 (Fig 6 ~ Fig 10) を五例示したが。

ここで t又はte:材入口温度
ta:材出口温度
φ又はφa:関係湿度
u:木材含水率

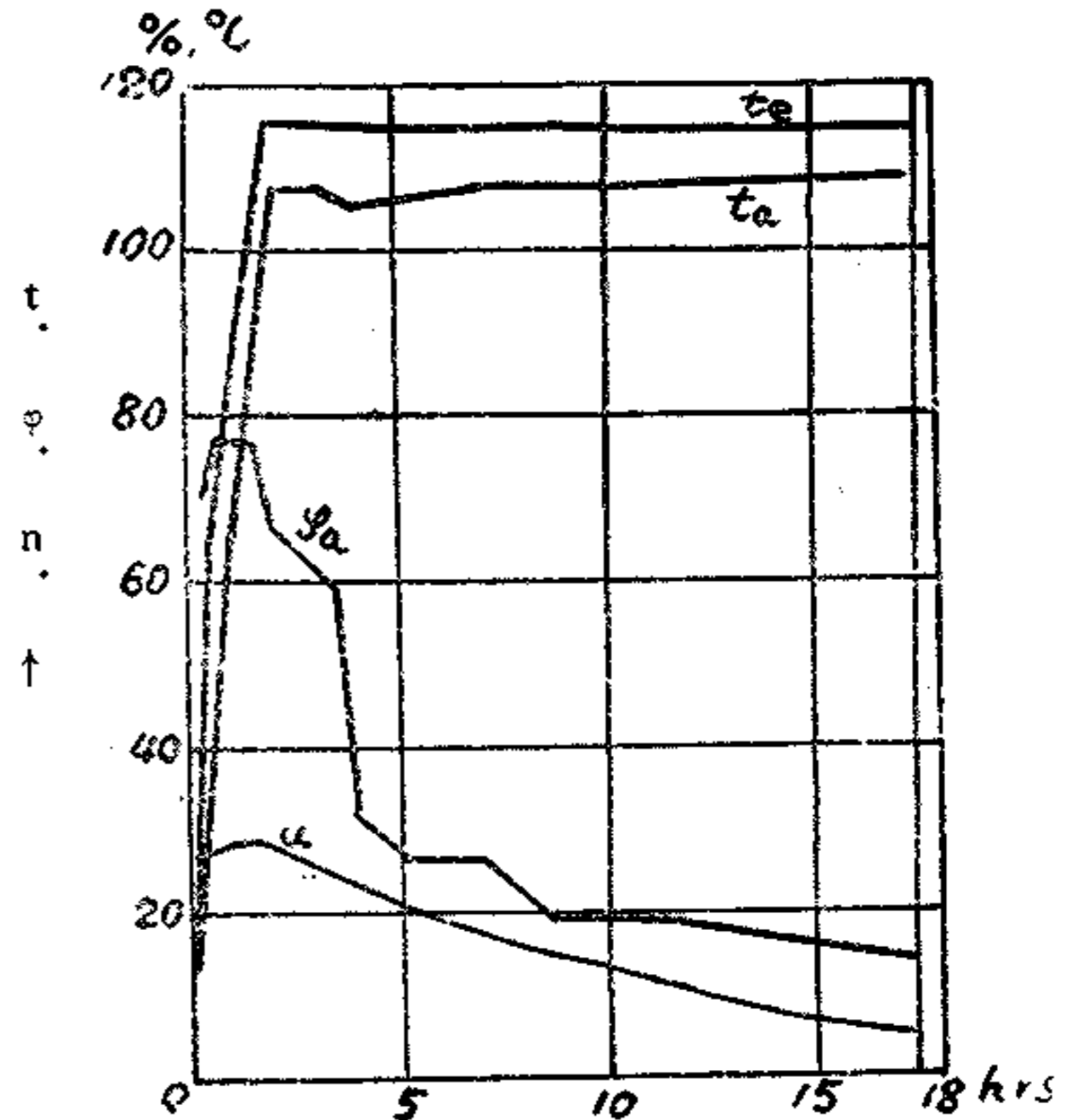
他の事例と併せてみるに、針葉樹材の乾燥に対しては100°C以上120°C時には130°Cの乾燥温度を使用している。従つて乾燥時間は著しく短縮され、乾燥の単位は日数 (days) ではなく時間 (hr) に置きかへられている。しかし、闊葉樹材に対しては目立つ乾燥欠陥の発生を伴うから、乾燥温度を100°C以上にすることは少ないが、初期含水率が繊維飽和点以下かせいぜい50%以下である。特にナラ材のように髓線の発達したものでは使用温度もそれほど高くないし、それに伴う関係湿度もかなり高く保つよう留意しているようである。

Fig 7



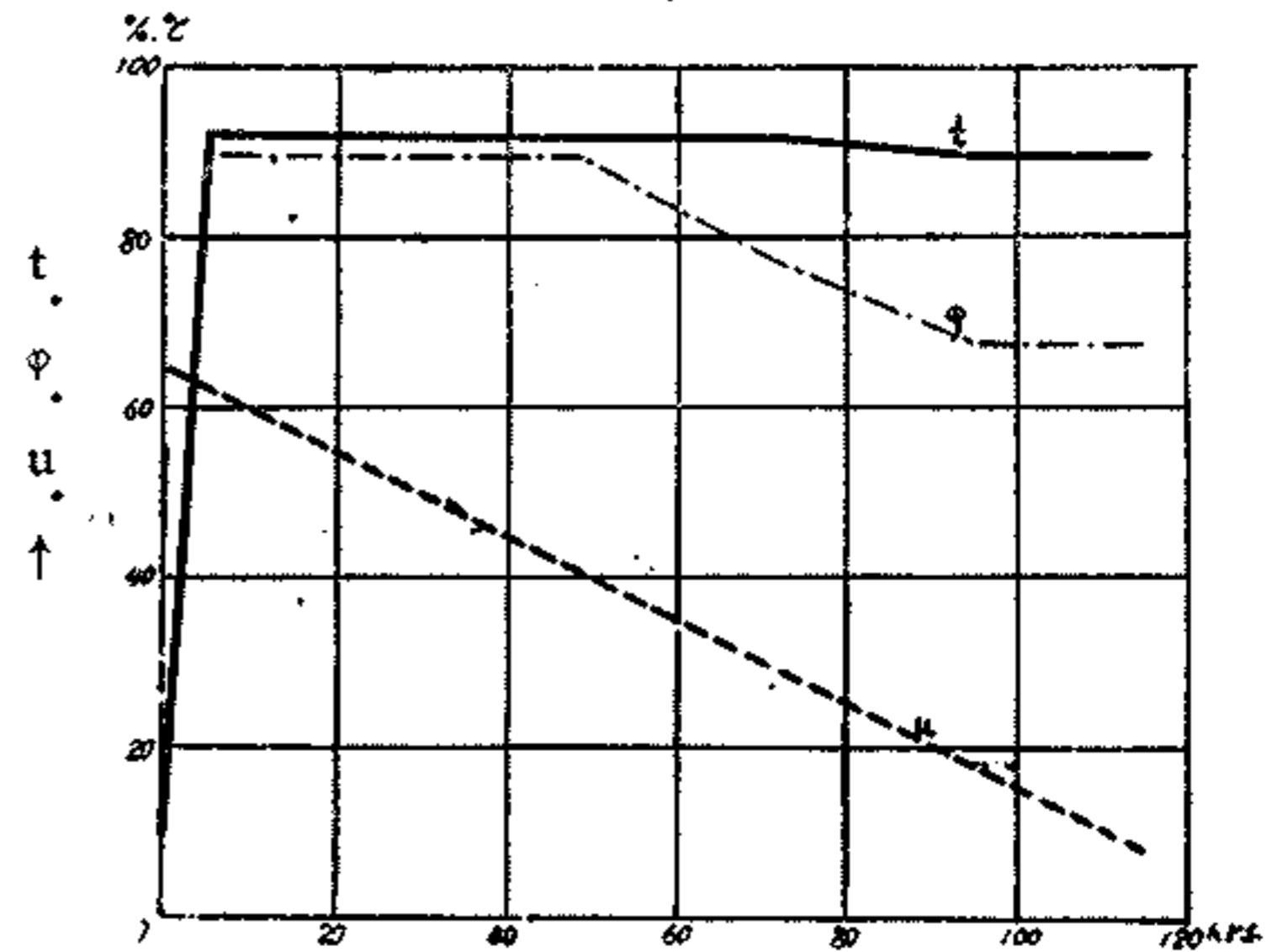
→ 0
乾燥時間
トウヒ 48mm原材
(Egner氏による)

Fig 8



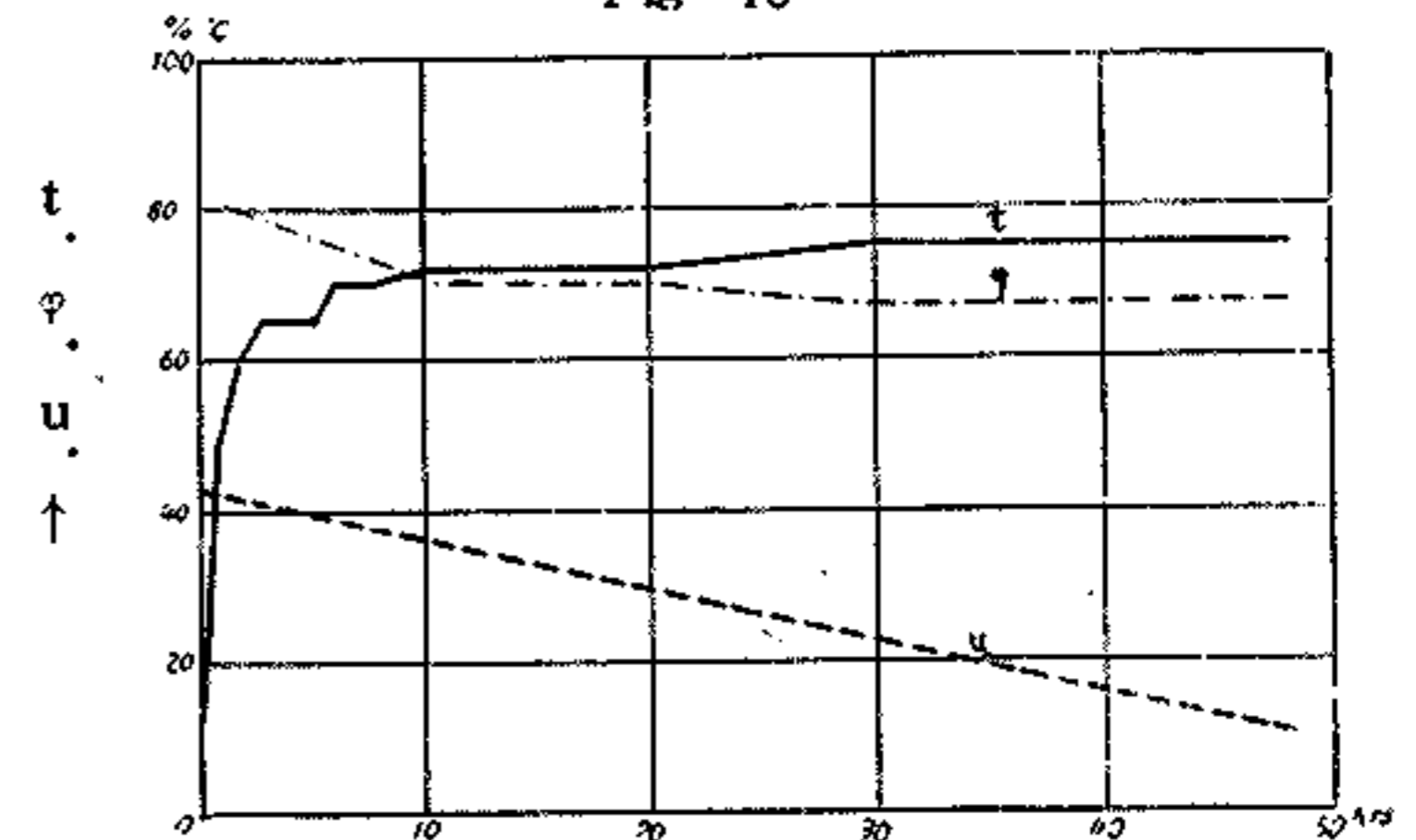
→ 0
ブナ 38mm厚材 (Egner氏による)

Fig 9



→ 時間 ブナ40mm 75%より8%まで

Fig 10



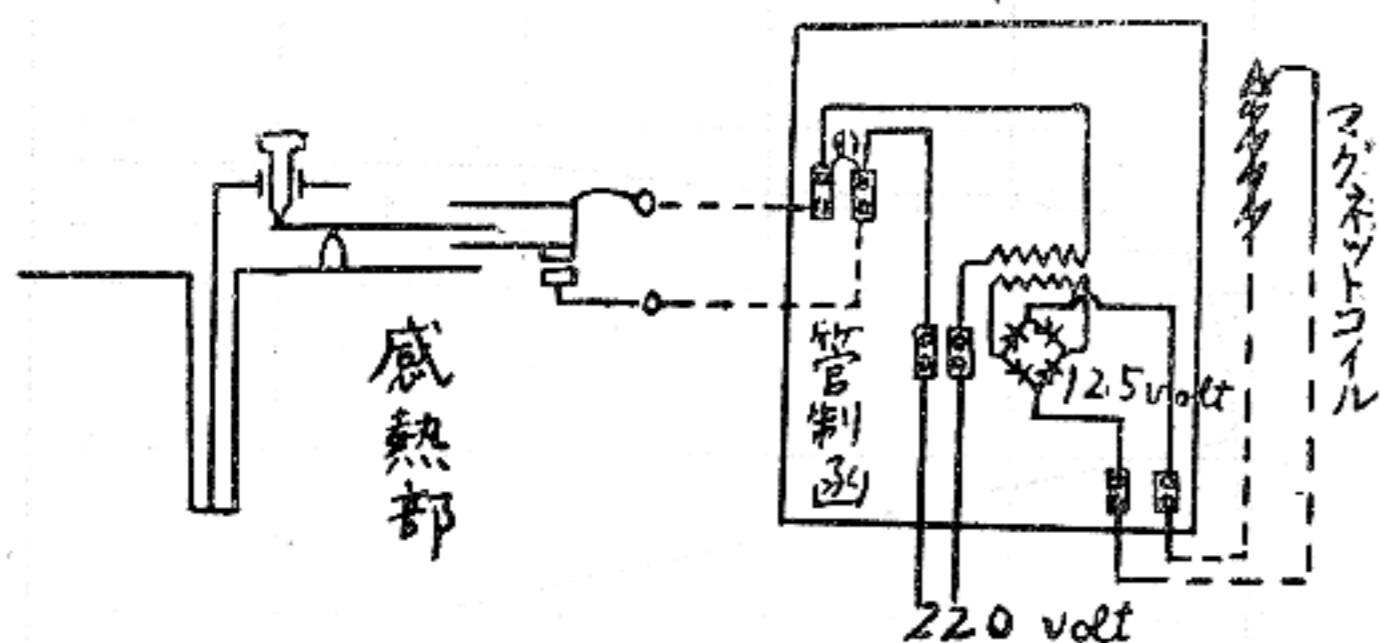
→ 時間 ナラ 25mm
40-45%より10%まで

型でインターナルファン形式を機械的コンパクトにしたもので日本楽器K. Kに入つたものと殆んど同型である。即ち、送風機はターボ送風機で1.5KW、220 volt、垂直電動機に直結されて天井部に奥行約4メートルに対し4個ついており、加熱管は外径25mmの鉄管にフィン高さ20mm、ピッチ9枚/5cmの割で約0.5mmのフィン巻きつけたエロフィンパイプよりなり往8本、復8本で長さ3950mmのヒーターで送風はこれを吹きかけて下部の材料の台車に上から横に一方的に吹流して他側より吸上げられてターボ下部入口により入っている。

材は機内の4m×1.85m×1.02の空間に台車に積積されて收容され、收容積積容積は1.40m×1.00m×4.00mで約6.5石(2.3m³)收容出来る。材の出入は片口で乾燥試験サンプルを出入する管理用の小扉のついた扉がねじ締めて機械に対する空気の入出を密封している。内部壁は2.7mm鉄板で蔽われ、継目は溶接で気密を保持するに留意し、防錆のための塗料(Inertolという商品名で石油系)0.5mm~1.0mm厚に隅なく塗布してある。この内張りの鉄板は鉄骨でもたせてあり約100mmのグラスウールで底部を除き被覆して熱絶縁を期してあり、その外壁は木骨に亜鉛鉄鉄板を打つけて化粧被覆してある。この側壁にスイッチ箱、管制箱、温度計、吸気、排気用ダンパー操作の鎖がついている。吸気、排気は天井部に150mm径の筒があつて鎖により手動である。

温度の制御はOn-Off式で感熱部はサーモスタットになつて前部についており、その電流を開閉変圧する管制箱を通して、コントロールバルブのマグネットコイルに連結している。マグネットの上下によりダイヤフラム弁の前後の差圧が解消したり、発生したりして主弁軸が下つて蒸気流量を閉止したり、上つて蒸気を流すようになつている。(Fig12、Fig13)

Fig 12



温度調節電気回路

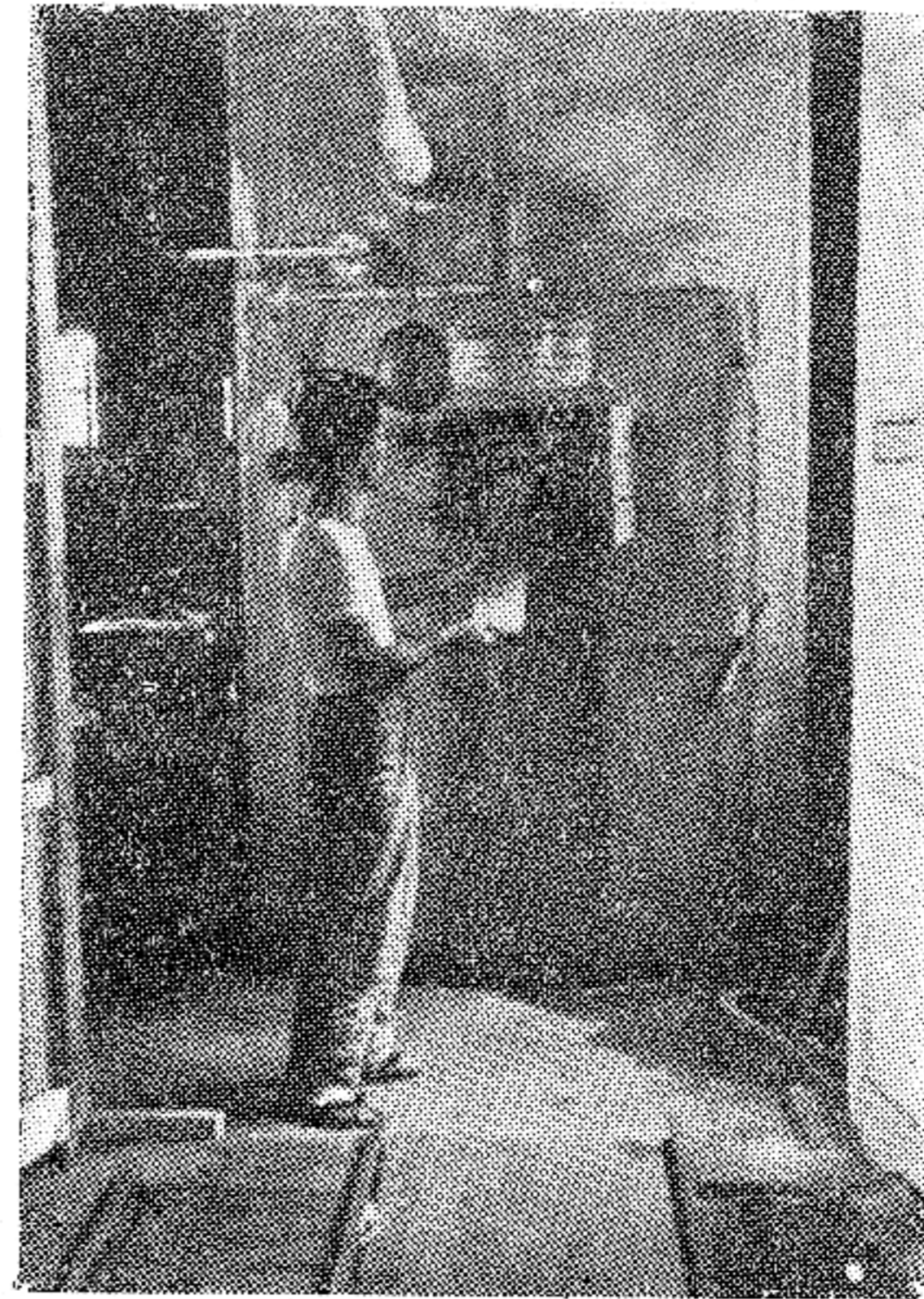


Fig 11

ナラ床板原板乾燥中のHD75高温乾燥機

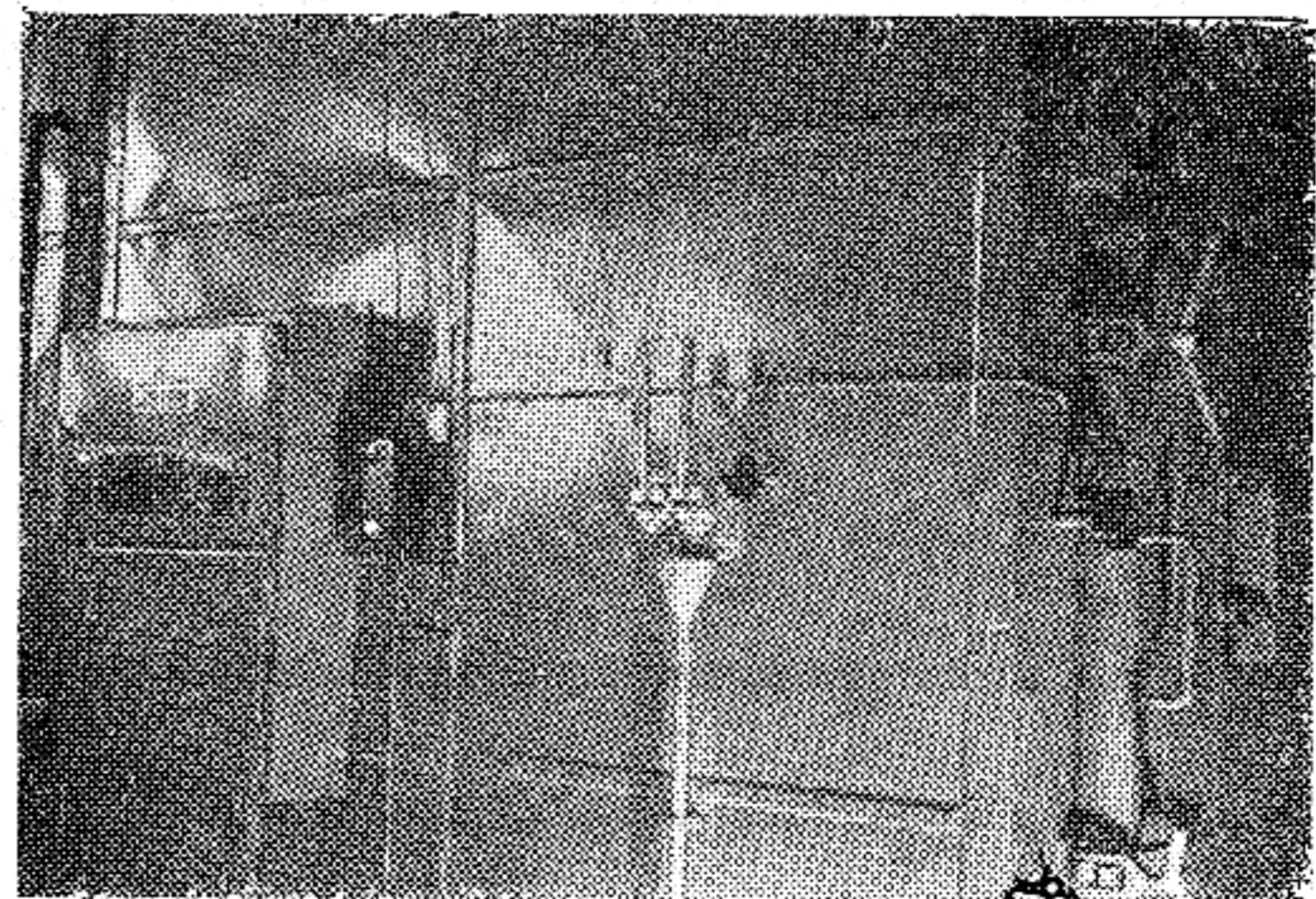


Fig 14 HD75乾燥機の主要部分

- | | | | | | |
|-------------|-----|-----------|-----------------------|-----|----------|
| ポスト
スイッチ | 管制箱 | 乾湿
温度計 | 湿球
給水用
ヴァ
ルブ | 感熱器 | サー
モス |
|-------------|-----|-----------|-----------------------|-----|----------|

Fig 15

送風機 と加熱管

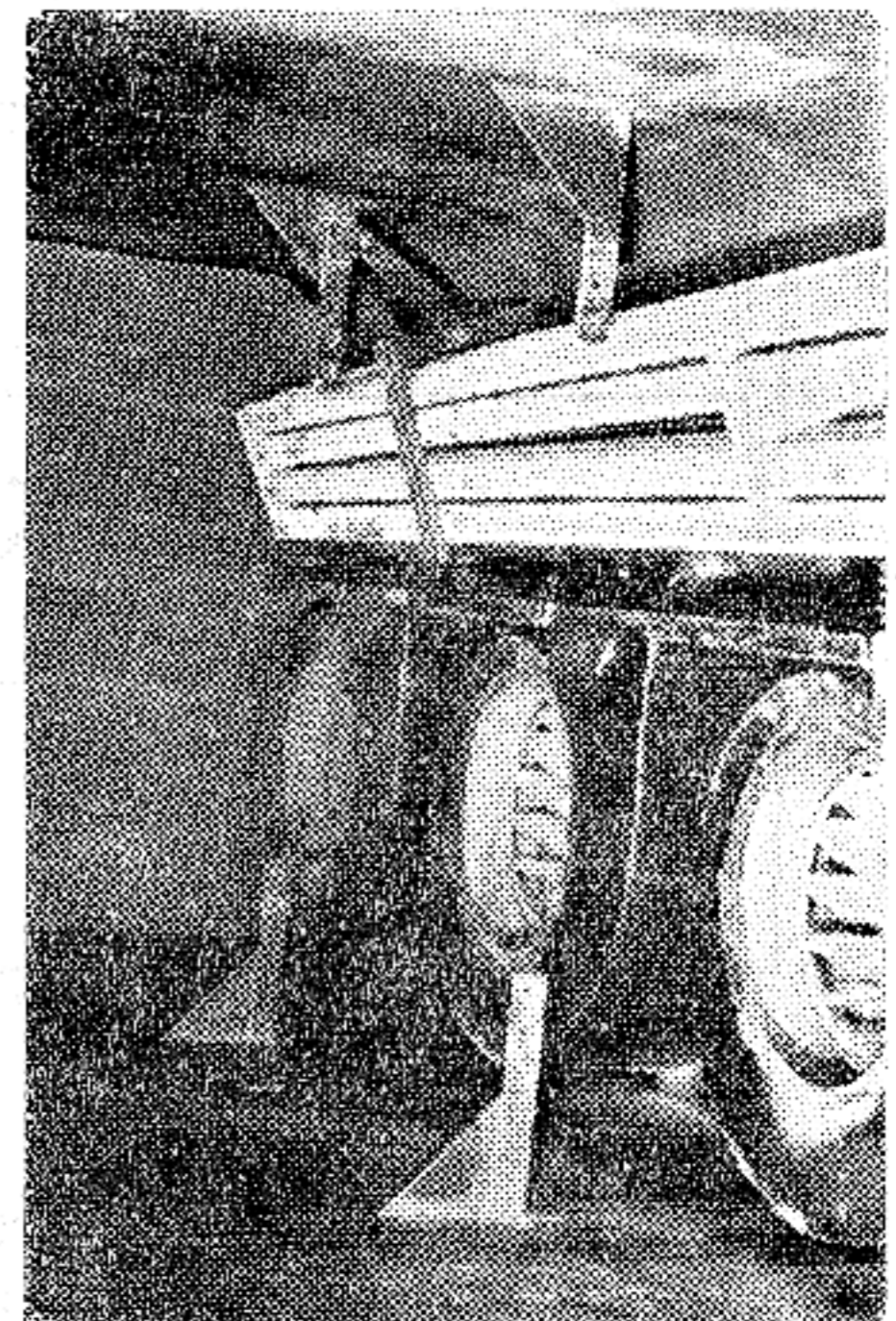


Fig 16

扉HD75乾燥機の側壁内部の
側壁内部のガラスウール

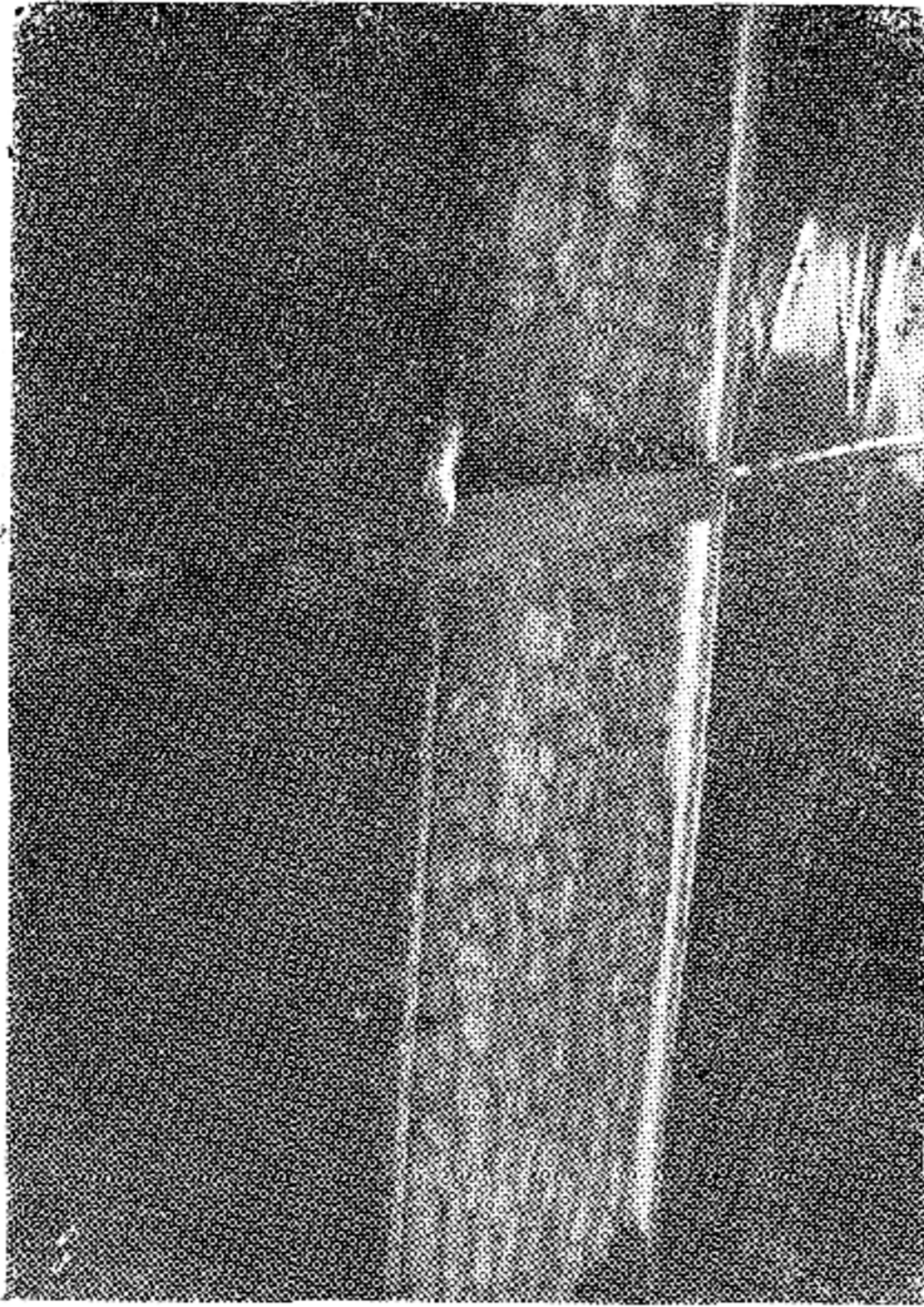
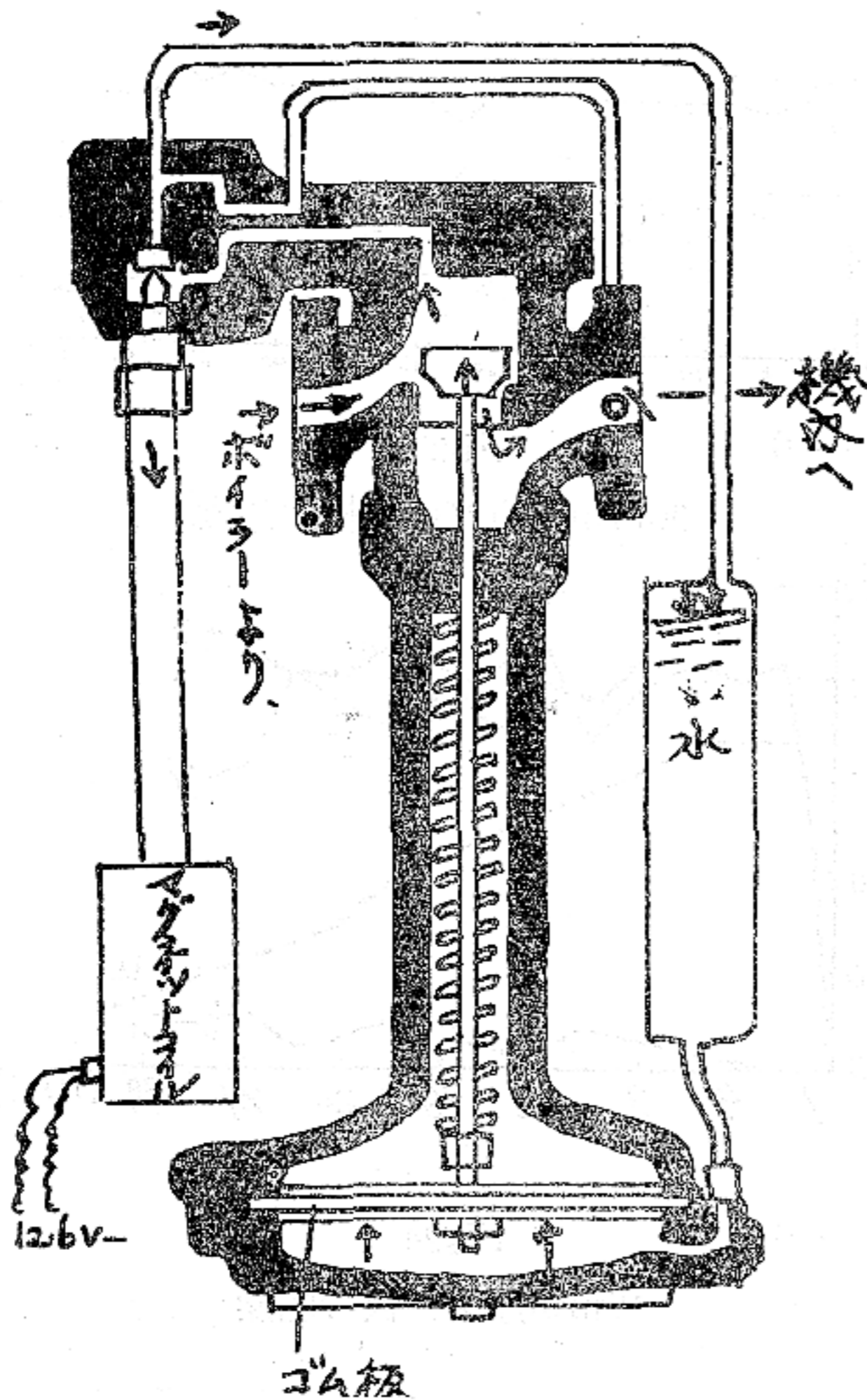


Fig 13

コントロールバルブ断面図



湿球温度計用水は側壁の一部に埋込の水槽があつてパイプで絶えず給水するようになってゐる。乾球温度の調節は出来るが湿球用、即関係湿度の調節はスチームスプレーによるか、吸気、排気のダンパーの手動によつて行わねばならない。気流速度は材間 2 m/sec前後である。部分によるムラは測定出来難いので判らないが大きいようである。

乾燥試験は次のものについて行つたが、何れも生産

の流れに応じたため必ずしもサンプルを一定にする事は出来なかつた。又針葉樹材の乾燥材の需要が少ないので外国との比較は充分でなく、潤葉樹材に対しても天乾の時間的余裕少きため主に生材より行つた。何れも一回当り約 2.3 m³ でその中から供試材として 4~6 枚選んで一定時間毎に秤量測定を行つた。測温は附属温度計、秤量は 7 kg 台秤 (ヤマト製) で行つた。栈木厚は 16 mm 栈木間隔 40 cm にした。尚都合により断続運転になるものもある。

次に試験結果：即ち 6.5 石位の色々な材料を HD 75 乾燥機で乾燥した経過を次表及 Fig 18~Fig 30 に示す。ここで

t	: 乾燥温度	(°C)
t _n	: 湿球温度	(°C)
φ	: 関係湿度	(%)
n	: 木材含水率	(%)
n _a	: 初期含水率	(%)
n _e	: 終了含水率	(%)
θ	: 乾燥時間	(hrs)
θ _b	: 通気運転時間	(hrs)

を表わす。

Fig 17 はトドマツの板で

t: 100 °C 前後、u_a: 49.2%、u_e: 93.2%

θ: 13 hrs で材の損傷は殆んど認められなかつた。

Fig 18 もトドマツの板で

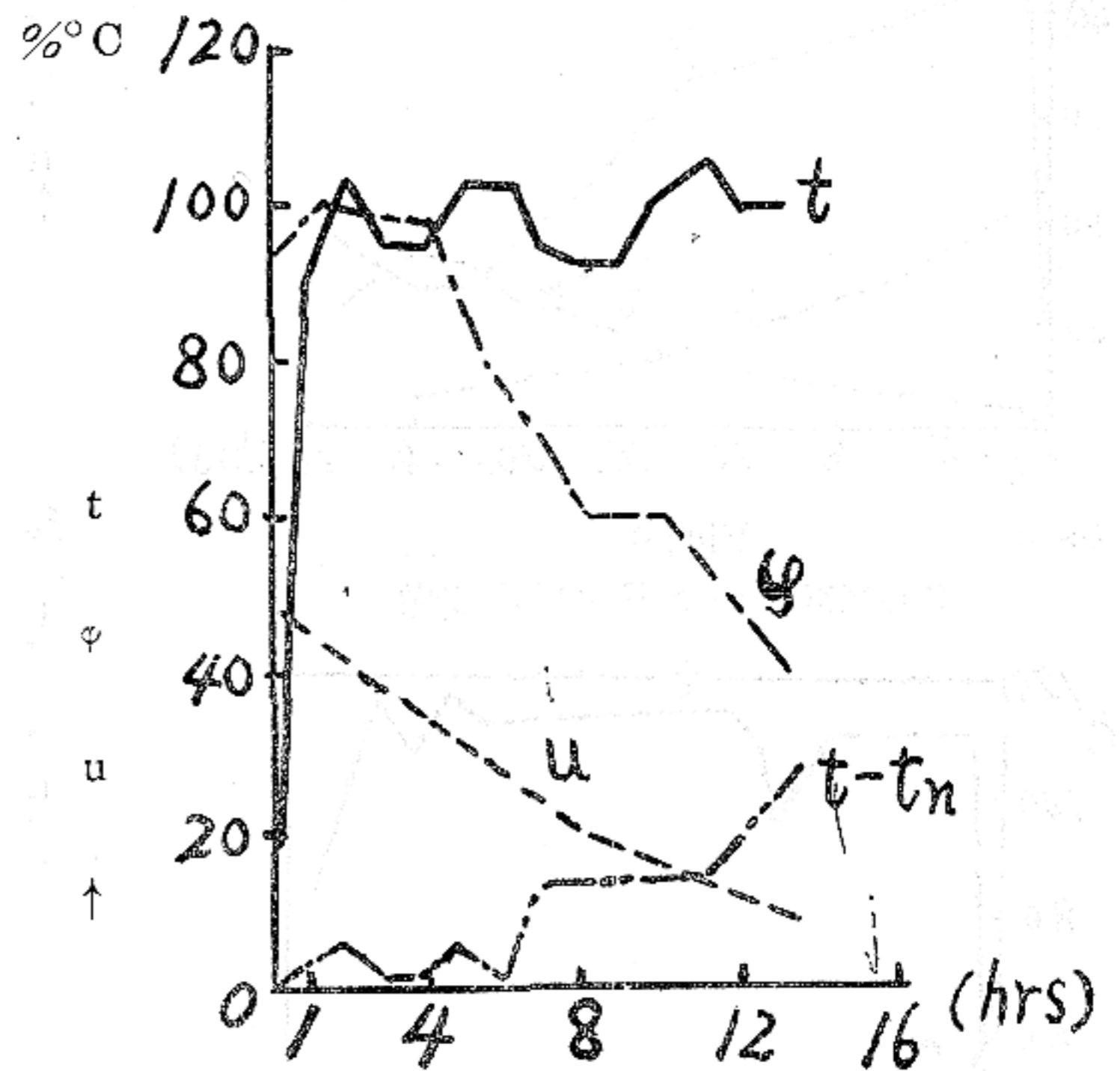


Fig 17

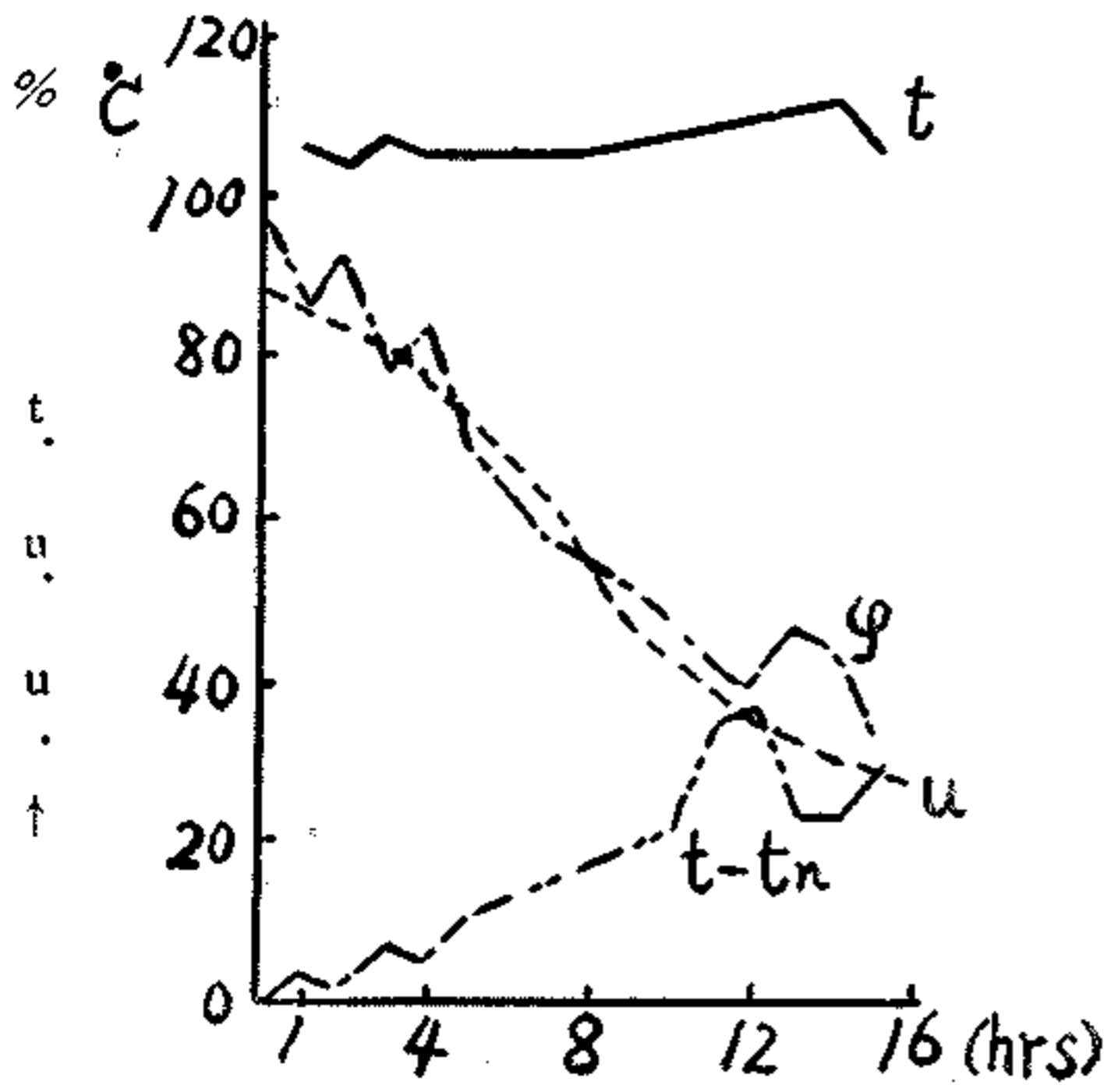
230×26mm トドマツの乾燥

t 105~110 °C の間で、u_a: 88.4%、u_e: 26.3%、θ: 16 hrs で一断面における材質からくると思われる (アテ材) 乾燥ムラが認められかつ、その部位に多少の表面割れが発生する傾向にあつた。

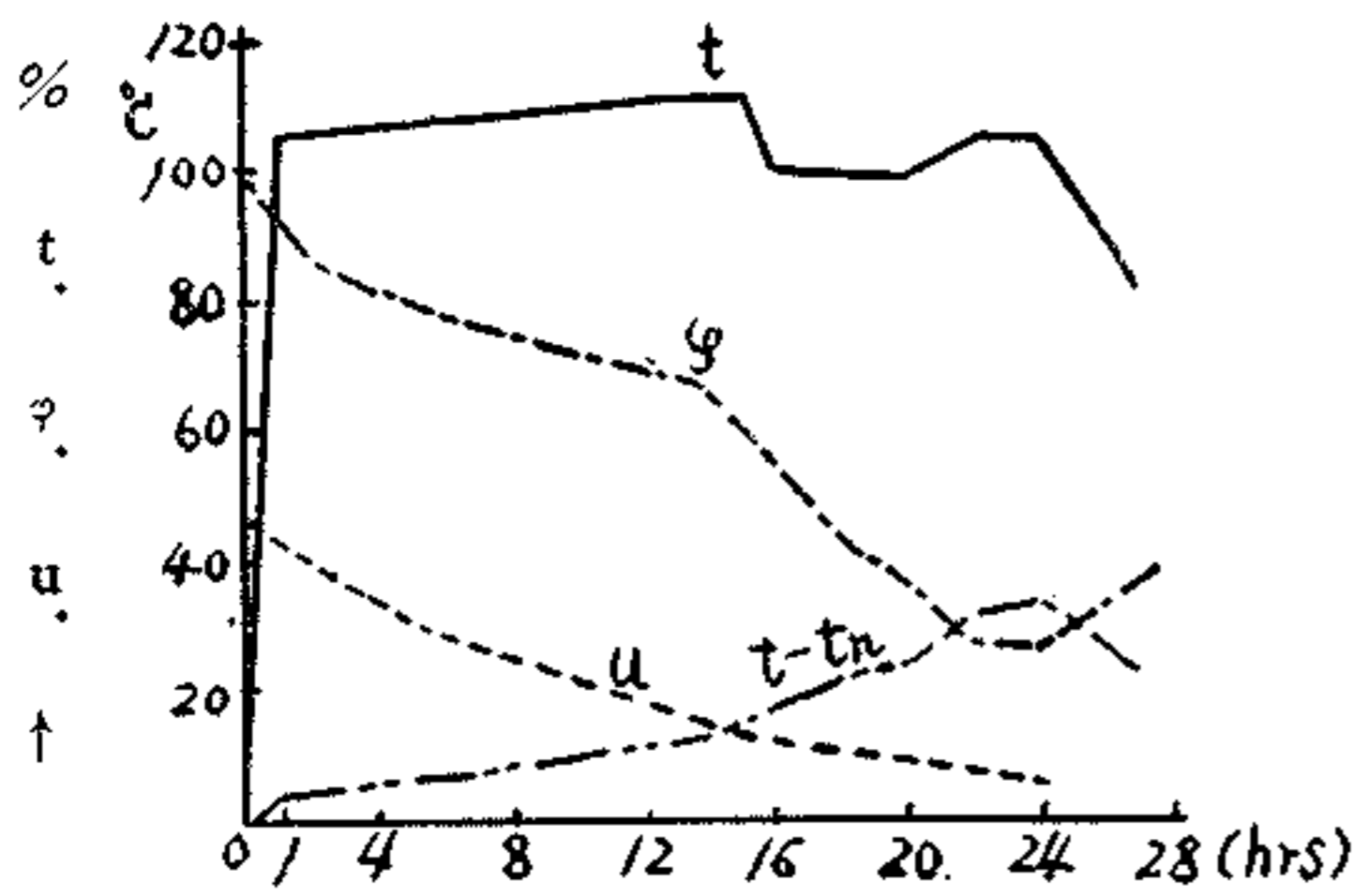
この場合は温度よりも関係湿度をもつと高くしておく時間を長くすべきでなからうかと思われるが初期含水率そのものゝムラの拡り範囲がかなり大きいと考えられるのでかかるものを直ちに乾燥工程に入れることが起因した無理と判じられる。

Fig 19 は t: 100~110 °C、θ=24 hrs、u_a 4

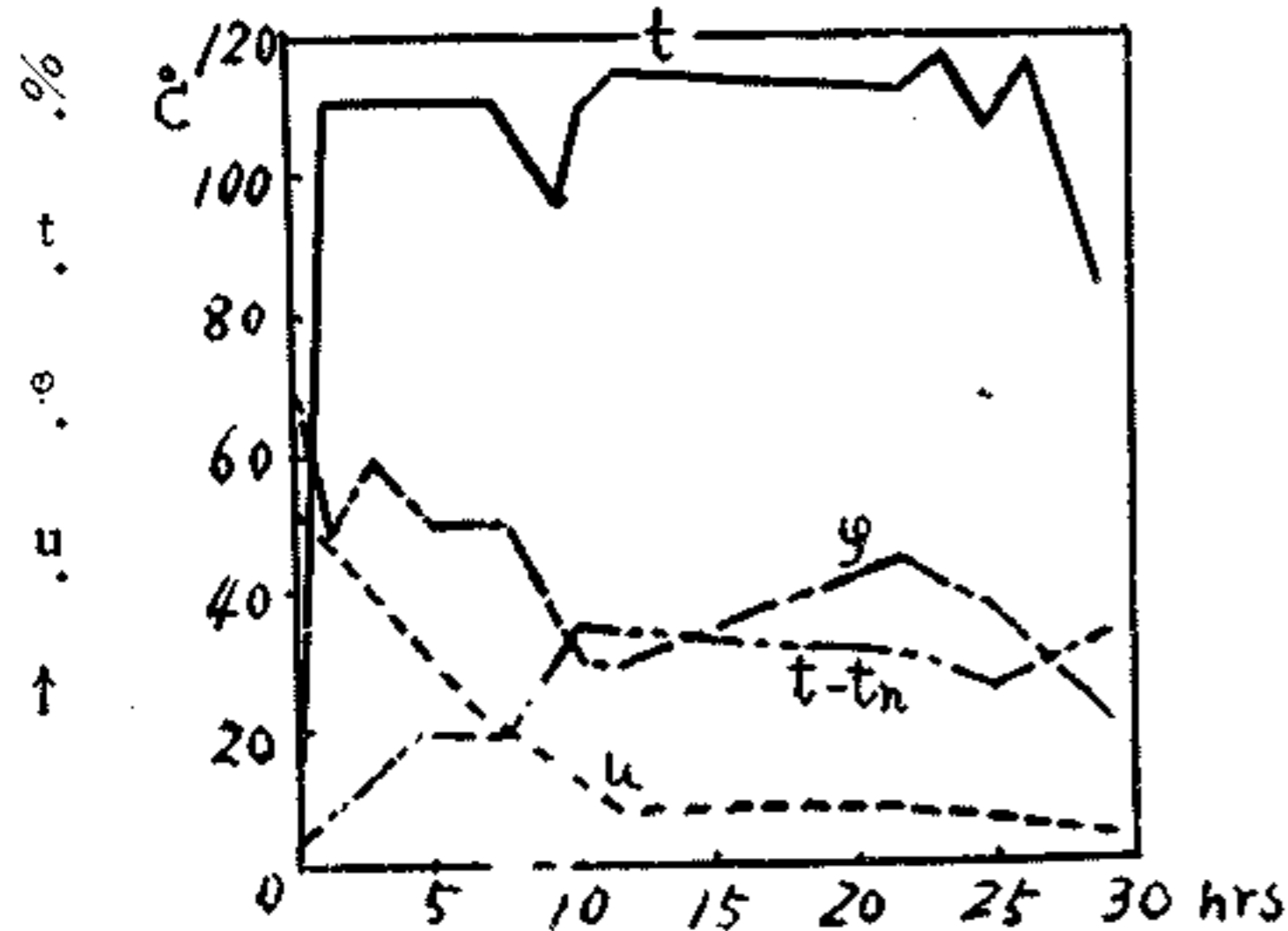
6%、 u_e : 5.0で前者に比べ比較的良好な乾燥が得られた。



→ 0 Fig18
200×30mm トドマツ松の乾燥



→ 0 Fig19
200×30mm トドマツの乾燥

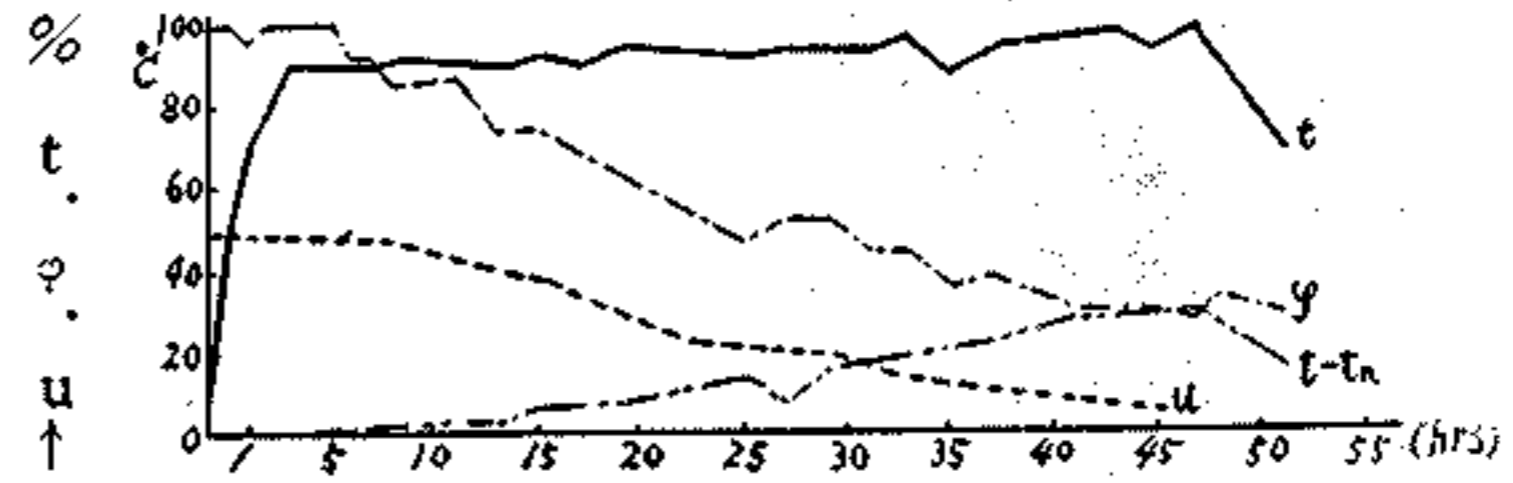


→ 0 Fig20
200×20mm トドマツの乾燥

Fig 2. は継続運転となつたが t : 110 °C、 u_a : 5.3%、 u_e : 4.4%、 0 : 2.9 hrs、 $0b$: 2.0 hrsで継続による時間の延長が直接乾燥時間に影響している。何れの場合も100 °C以上の温度条件は材色を多

少変化させている。

Fig 2.1 ~ 潤葉樹材に対しては前例も少く乾燥条件と材品質を留意して行つた。 t : 90 °C ~ 95 °C、



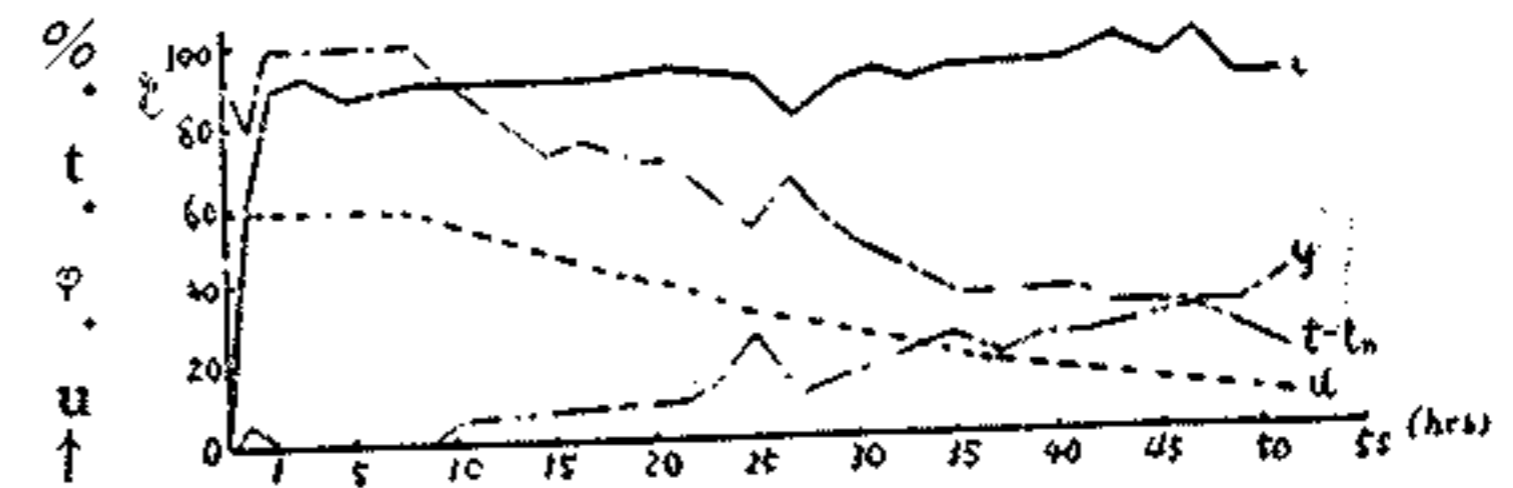
→ 0 Fig21

90×21mm マカパ 証目板の乾燥



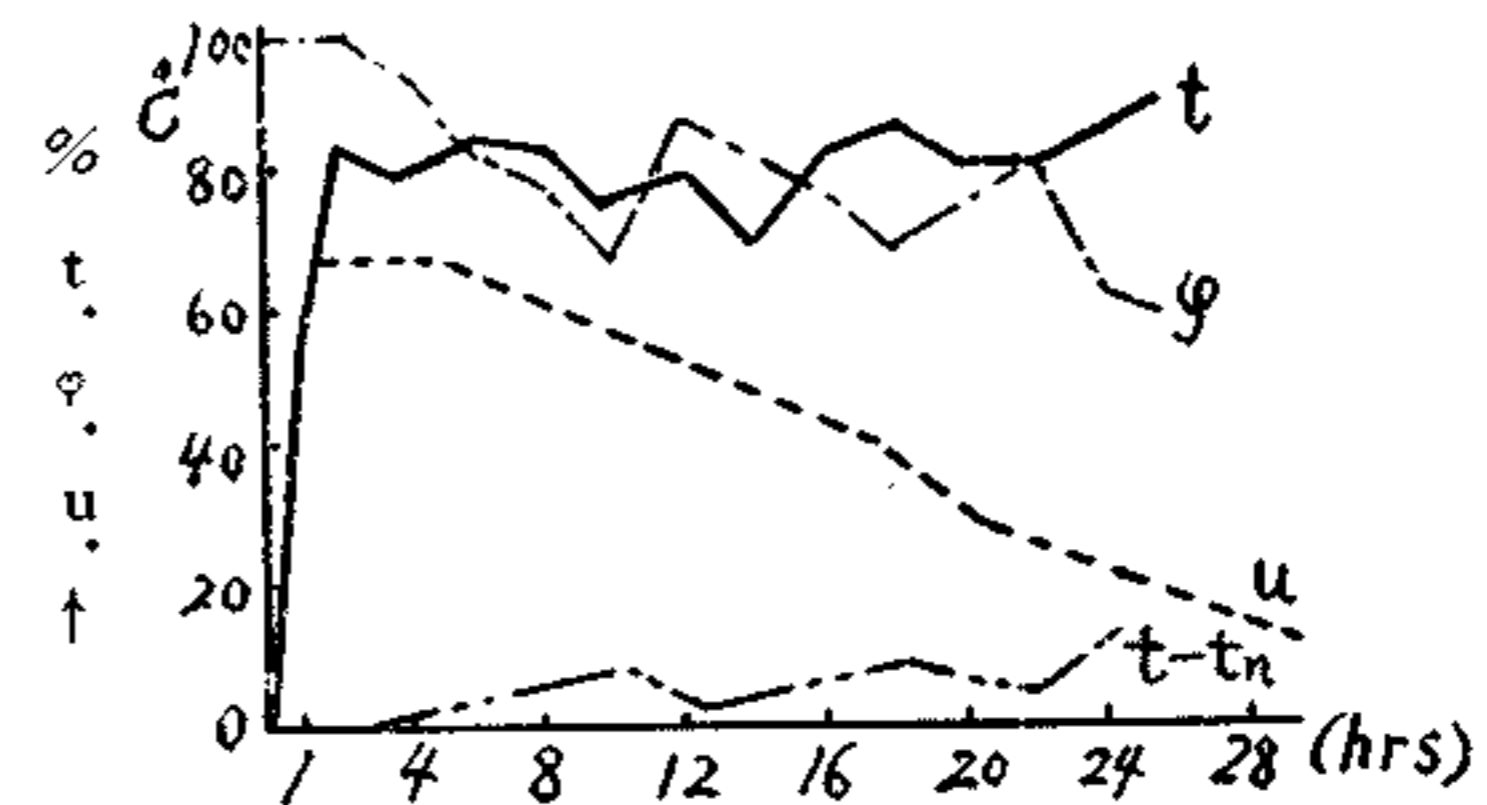
→ 0 Fig22

90×21mm マカパ 証目板の乾燥



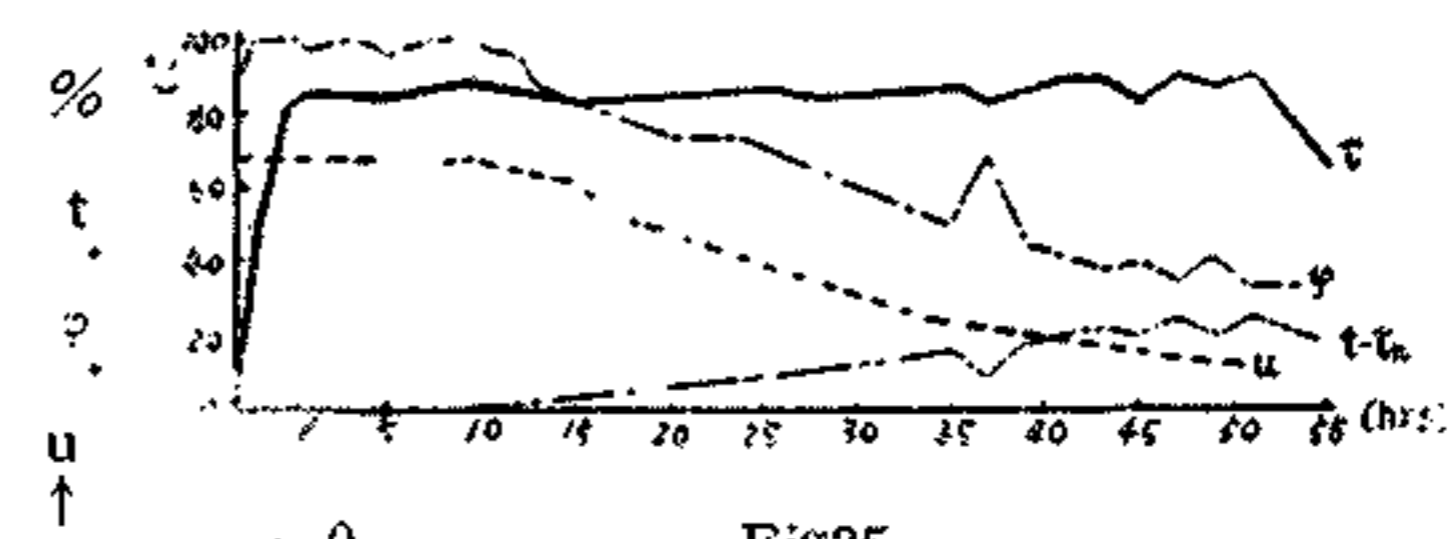
→ 0 Fig23

30mm マカパ 端尺板の乾燥



→ 0 Fig24

15mm厚ナラ板の乾燥



→ 0 Fig25

110×21mm ナラ床板の乾燥

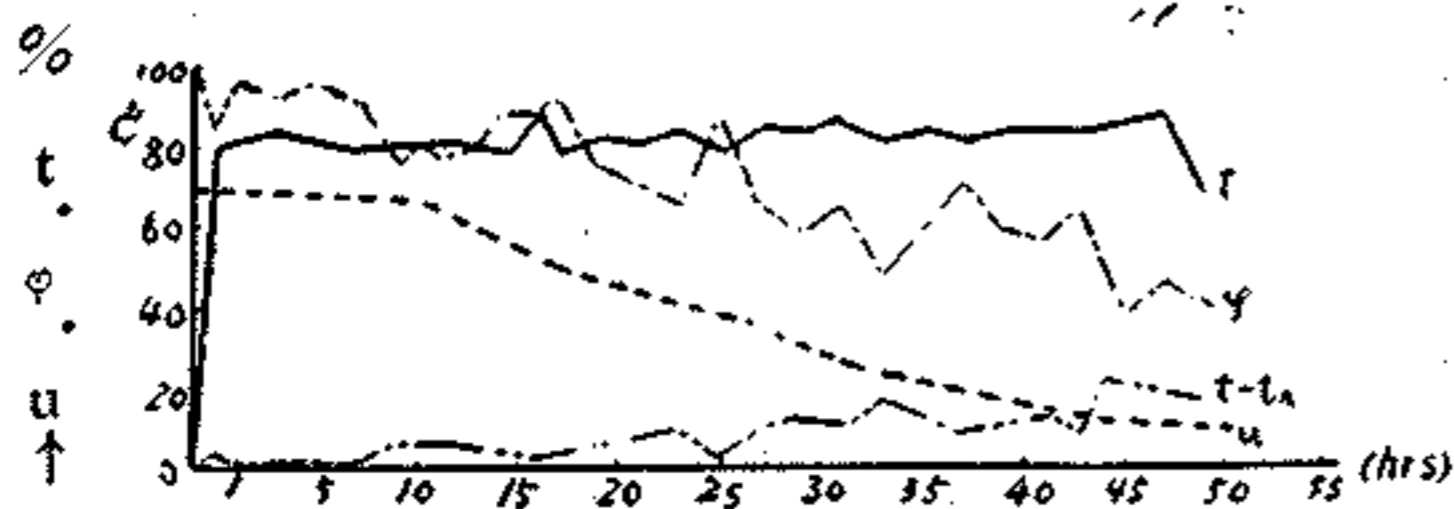


Fig26
110×21mmナラ床板の乾燥

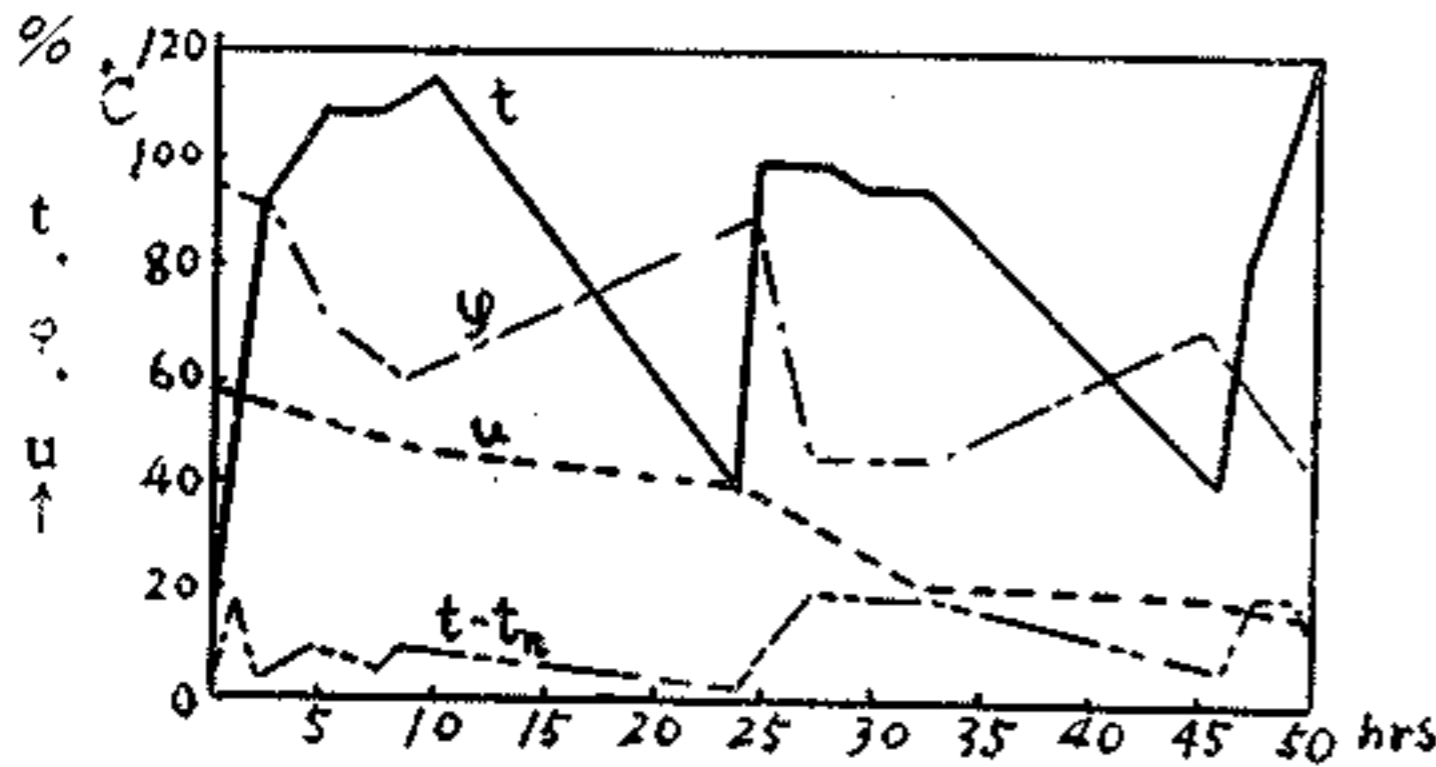


Fig27
180×20mmマツ板の乾燥

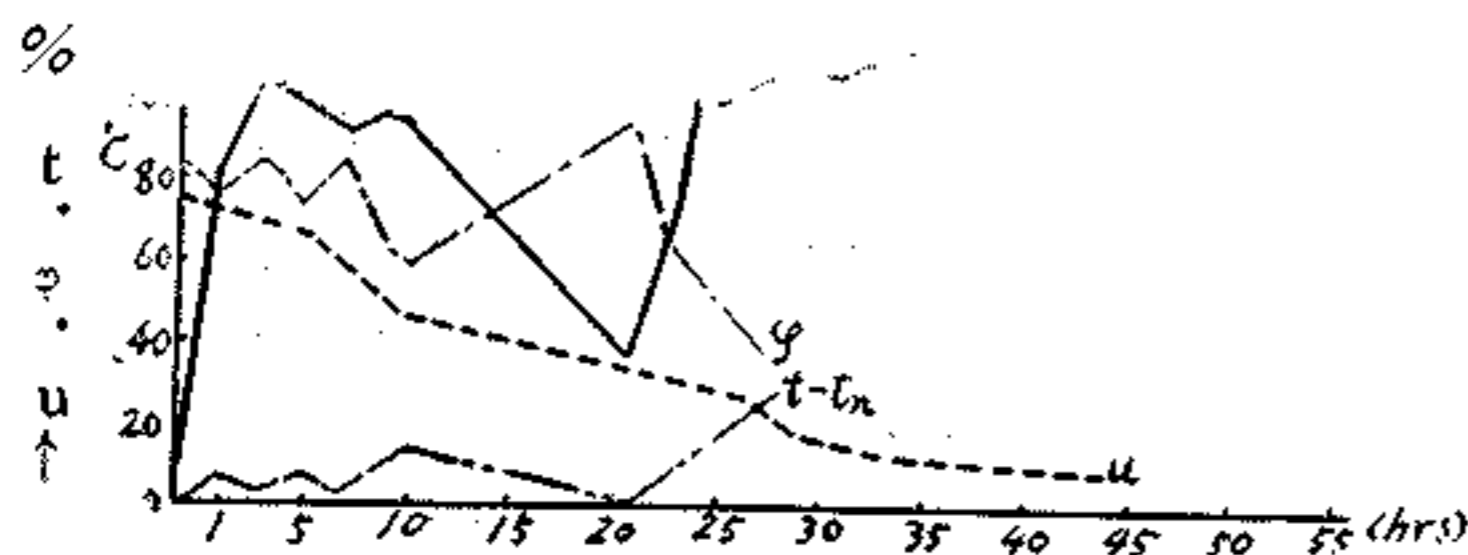


Fig28
90×21mmセン床板の乾燥

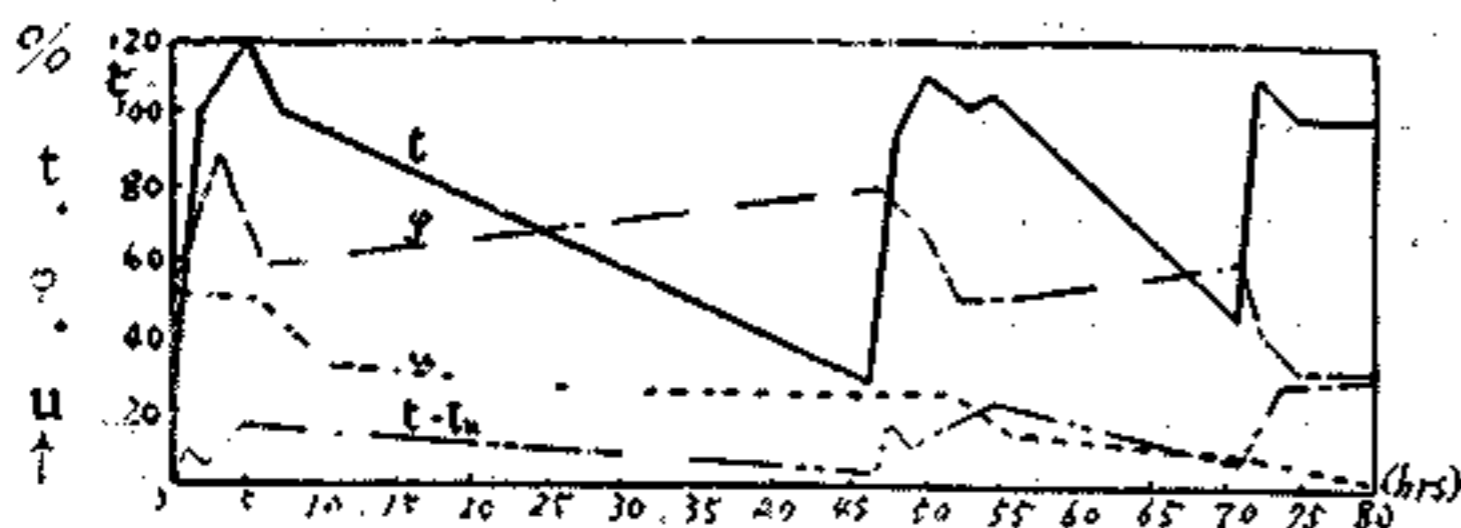


Fig29
120×25mmセン材の乾燥

50%、 u_e :6%、 θ ;45 hrsで、柾目板の故か案外好結果を得た、次のFig 22も同じ材料で少し温度を上げた結果乾燥時間も僅少なから減少した。変色及光沢度は僅少なから減少したように思われた。

Fig 23:端尺の故か(1尺~3尺) t ;90 °C、 u_a ;58%、 u_e :8.8、 θ ;52 hrs、であつた。材の損傷は殆んど認められなかつた。

Fig 24、 t ;80~85 °C、 u_a ;70%、 u_e ;14%

t ;29 hrs、割れ易いナラなどで特に注意して行つた結果、割れの現象は殆んど認められなかつたが、反り、曲り、振れの発生したものがあつた。しかしそれは使用に堪える程度に取つた

Fig 25~26、Fig 24の例から慎重に、特に関係湿度の低下に留意して行つた結果、 t ;85~90 °C、 u_a :約70%、 u_e 12%、 θ :何れも50 hrsで終了し、著しい欠陥は認められなかつたが木口割れ、表面割れの発生しているものもみかけられ、又材の変色も多少目に立つた。今後もつと研究する必要があると思われる。

Fig 27、トトマツの継続運転、 t :100~105 °C、 u_a :58%、 u_e :15.6%、 θ ;50 hrs、 θ_a ;27 hrsで継続運転の不利点が現われている。

Fig 28、セン床板材で t :100~105 °C、 u_e :75% u_c :12.77%で継続運転で θ_b ;28 hrsであつた

Fig 29もセンで継続運転であるが運転休止時間長く、 θ_b ;20 hrsであつた。

以上の乾燥例からみると針葉樹では外国の例まで行かないが、時間の短縮を得た事は一応の成果である、これ等の場合も乾燥温度の上昇は更に大きく出来る材厚もあると思われるが、30mm以上の水分分布状態の不均一な、例えば辺心材の混じた、或いはアテ材の多いものについては更に研究の余地があると思われるし、又、関係程度の運び方にも未だ残る問題があると判じられる。材質については詳しい物理的検討は今後になすべきであるが。外国の研究では高温処理材程材幅(恐らく板目板についてであろう)の吸湿増加は60 °C乾燥材に比して70%前後に止つている。又吸湿、脱湿のシステレンスは何れも天乾材、60 °C人工乾燥材に比して値が小さい。圧縮強度は100Kg/cm²前後小さい値を示すもので、接着強度は殆んど変つていないと報告している(Egenr氏による)。

闊葉樹材の乾燥は、むしろこれ等の材の方が本邦では乾燥需要の大半を示めるものであるが、今までの経験からおすと厚物に対しては大きな期待をもてないといへるだろう、特にナラの属のようにかなり比重も大きく、髓線の発達したものは何らかの処理をしない限り100 °C以上の乾燥条件を与える事は困難と思われる。本試験では天然材含水率30%前後について供試出来なかつたものは残念であるが、特にナラの乾燥では未だ解決すべき条件の適用が問題となつて残つていると考えられる。しかしあまり高含水率でない(50~60%位)のもので厚も22~23mm位の繊維走行の整つたものに対しては本試験例のように単位が時間的に表現される時間で乾燥されると確信する。ナ

ラ以外の材ではブナはかなり仕上りの形状の歪曲に対して注意しなければならない、又、ニレ（アカダモ）のようになものについても同様温度及関係湿度条件を絶えず厳重な管制の下で行わねばならないだろう。それ以外の材は（比重が $6.0g/cm^3$ 以下のものであれば）乾燥単位が時間的に表わされるまでに短縮がはかれると思われる。

外国の例では生材から乾燥した例は殆んどなく、潤葉樹材の例も少ないのでそれ等の比較検討する事は未だ早い、時間的短縮に伴う乾燥欠陥による歩留り低下を重要視しなければならない。本試験を通じて発生した欠陥は木口割れ（ナラに多い）表面割れ（ナラ、ブナに発生）材の歪曲（全ての材に多少現われたが）が多いが特に節の周辺部に使用出来ぬ程度のもの発生したが、歩留りそのものは必ずしも悪いものでなかつたと言えよう。唯近年通直材の量も少く且高価であるので、高温度の適用は直ちに乾燥にも適用すべきでないだろう。勿論、一時喧伝されたような超高速乾燥は出来ないものである。比較的高温又は $100^{\circ}C$ 以上の乾燥条件の適用は積積の断面のいかなる部分も均等に任意条件が与えられるものでなくてはならない。その意味で本乾燥機は従来の I・F 型乾燥室を集約したものといえるだろう。勿論、片流循環であるため積積左右の温度差はあつてこれは乾燥初期では 5° 前後から著しいときは $10^{\circ}C$ 位で乾燥が進むとその温度差も小さくなるのは水分蒸発に要するエネルギーの消費によるもので当然といえよう。

輿行方向に対する温度ムラは殆んど認められなかつたが、空気速度はターボファンなので多少あると思われるが測定は殆んど認められなかつたが、空気速度は外国の報告によると下部の方が強い傾向である。

$100^{\circ}C$ 以上の高温を使用するので当然壁体からの熱損失に対しては前述の如く厚 $100mm$ 程度のグラスウールを使用しており外壁の温度も殆んど外気温と変らぬ位であるし室内空気の漏洩は排気筒以外に凝結水管の一部、温度計の部分から一部出る程度で、この点よく出来ているといえるし、今後の乾燥室の建設に当つて留意すべき事であろう。Fig 80 は空の状態ステイミングしながらしばらく加熱して後蒸気をとめ冷却状態をみたものである。

又空運転の場合の送風機による空気の圧縮からくる加熱は外国の例では 4 時間で $30^{\circ}C$ の温度上昇をみているが、本乾燥機ではそれ程高く上昇しないようである。

かかるように熱損失を最少限にしてあるので蒸気量の消費は従来の乾燥室に比べて少いようであるが、温

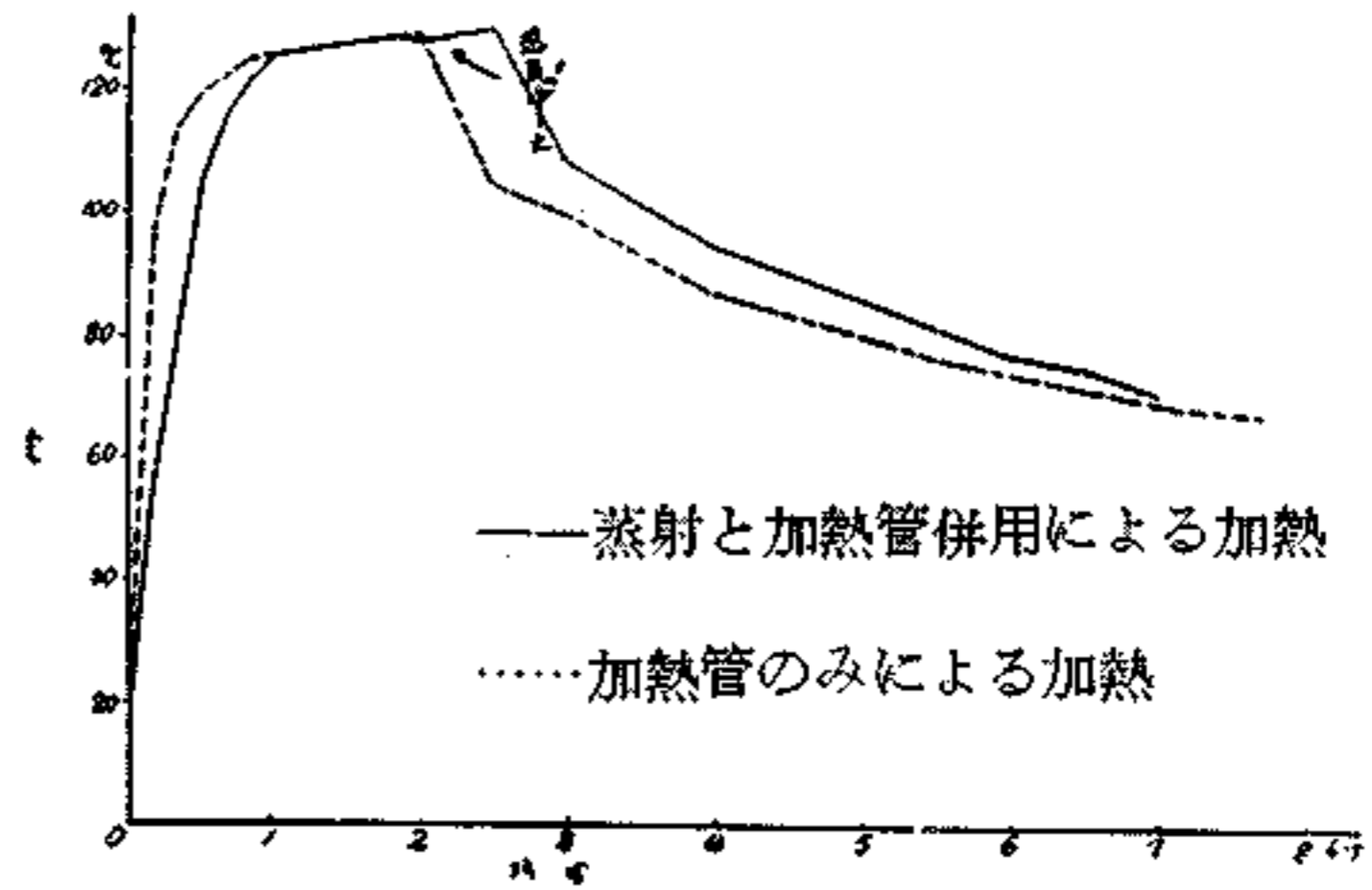


Fig 30

度上昇による消費量の減少を期をする事が出来るかどうかははつきり判らない。

温度及関係湿度の自動制御については本機は前述の如く乾球温度に対してだけで、関係湿度の方は加湿も吸気、排気共に手動によるもので中途半分であるが、今後の乾燥室の構造、形式と共に考えねばならない問題である。

本乾燥機を高温乾燥に使用した場合、明かに現われる欠陥は構成材料の腐蝕である。これは高温である上に湿分が多いため構成材が著しく発錆する。当所のものではエロフィンヒーターのフィンが真先に錆蝕し代替をつくつてつけ替えた位で鉄製の部分は特に注意しなければならない。はじめにもふれたが U. S. A でこの高温乾燥試験が中絶したのは構成材料のためであつた。材料としては最近のものはアルミニウムを使用しているが、これも純度のかなり高いものでないと耐久性が少ないだろう。このように材料の撰択に厳密性を要するので自ら高価格のものになり、高温乾燥は今直ちにどの材料にも適用されるものではないだろう。それまでに解決すべき多くの事を一つづつ明かにして行きたいと思つている。

■、今後の乾燥室

最近木材乾燥の形式は新しいものも、改造されるものも、熱交換が室内にあつても、室外にあつても、殆んどインターナルファン形式になり、材に対し均等な乾燥条件を与えるようになってきているが、本試験を通じてその送風の大きさと均等性からもつと進まねばならないと考えられる。特に乾燥条件の温度が高くなり、材料の流れを速かにしなければならない部門では送風機の数も送風量も増加し、送風のエネルギーを風洞部分で減殺される事を極力最少限に止めねばならない。ドイツからの報告によれば送風機は材積の直前にあつたり、材自身を回転して遠心力による送風というより材間空気を均等に吹き飛ばす、遠心式乾燥機を実用に供しているという。

又、当然の事ながら、乾燥は材料の中の水分をとる事であり、その為に必要なエネルギーは普通の乾燥法では熱エネルギーである。従来からも、とかく等閑視にされているのは（木材工業にあつては）熱エネルギーである。それは工場の幾つかの工程から出る燃料としてしか向けなかつた所謂、廢材を安価に見積つて燃料としていたからであらうが、その中からもつと高価値材を生産出来る今日、乾燥に要する熱エネルギーについてもつと考え、室の構造、形式を再検討して改善すべきであらう。これは1日の蒸気消費量だけでなく結局、乾燥時間に影響するからである。これは乾燥従事者だけの問題でもなく又その人々だけで解決出来る問題でない。それが室の形式、構造と共に乾燥費用を低減するものであり管理の上からも強調されるべきものである。

文末にあたり本試験に尽力下さつた伊藤隆君及関係各氏に紙上を借り厚く謝意を表します。

（林業指導所研究部）

文 献

- ① 龜井三郎
空気の調湿及乾燥
- ② 松本文三
木材乾燥法

- ③ 満久崇磨
木材乾燥に関する研究木材研究 No. 6
- ④ James S. Mathewson
High-Temperature Drying ; Its Application of the Drying of Lumber
J.For.pro.Res.Soc. Vol. V No. 5
- ⑤ K. Egner
HeiBtrocnung von Holzern.
Holz-Zentralblatt 26. April 1952
- ⑥ R. Czepeck
Theorie und praxis der Hochtemperatur-Holztrocknung. Holz als Roh
10 Jag. Heft 1
- ⑦ R. Keylwerth H. Gaiser. H. Meichner
Untersuchungen an einer HeiBdampf-trock-
-enanlage.
anlage Holz als Roh. 13 Jag. Heft 1
- ⑧ F. Kollmann
Technoslogin des Holzes Bd 1 Bs II
- ⑨ 中川 宏
木材乾燥の新方式
北海道立林業指導所月報 6

S. G 乾燥装置に就いて

株式会社岩倉組

1. 序

此の度、道立林業指導所より専門的な立場から S G 乾燥装置に就いての寄稿を依頼されたのであるが、乾燥作業に従事しているものゝ、日も浅く、又此の方面の専門家でもないので益々以て不適當ではあるが、指名であるので御批判と御教示を頂くことを目的としおこがましくも敢えて本文を綴つた次第である。

S G 乾燥装置に就いて述べる前に当社が本装置を採用するに至つた理由を述べさせて頂きたい。

当社は木材業全般に亘つて経営はしているが、特に合板、床板及びハードボード工場と木材加工経営を維持して居り、就中、吋材の出荷と相俟つて、特に床板工場に於て木材乾燥と言うことに対し関心を持たざるを得なかつた訳である。

日々の経験に基き、又経済的変動に対し、もつと早く乾燥したい、しかも生材から乾燥したいと言う欲求にかられ、その工場の実情に適した乾燥室を持つこと

が。我々に必要なことでもあり、又それを建設することが我々の責務でもあつたので、合板工場の拡張に伴う蒸気熱量の不足と相俟つて、自家発生プレーナ屑を燃料とする完全熱ガスによる直接加熱の熱供給方式且つ強制循環方式の S G 式乾燥装置を採用したわけである。

然しながら今茲で、S G 式乾燥装置と他の装置とを比較し、取捨撰択することは本文の主旨でもないからそれはさて置き、要は実際にその工場の実情、目的に適した装置をもつことが必要で大切なことではなからうか。

2. 概要

本装置は木屑プレーナ屑及び鋸屑等を燃料として、熱ガス発生炉により完全燃焼された熱ガスは除塵器で灰を落とし、熱ガス混合器に於て吐出管、吸入管の外部循環回路を通る空気中に調節混合されて乾燥室内に吐出される。更にこの熱ガスは適当な温度と湿度を以て、

、緒言

木材乾燥の工程を時間的に見た場合、その単位は日数（Days）を以って表現しているのが現状である。木材加工工場内の材料の流れの諸工程の中で、その単位が日（Days）であるのは木材乾燥だけで、屢々この工程が時間的障害やネックになる事が多く、その為に関係工程の諸経費にまで影響し製品のコスト高を招来する事が多い。従ってこの乾燥時間を短縮する事は従来から関係者から強く要望されている課題であるし、又洋の東西において研究されている事でもある。

言うまでもなく木材の乾燥材構は

a) 表面蒸発

b) 内部水分の移動

によって行われていると考えられる。内部水分の移動の状態として

1) 繊維飽和点以上では毛細管力による自由水の移動

2) 繊維飽和点以下では水分傾屯斜による結合水の移動

3) 全含水率区間では蒸気圧傾屯斜による水蒸気の移動

に基くものと従来からの研究者によって明かにされている。この水分の移動状態は毛細管力によるものを除いては、何れも温度の上昇に伴い、大きな作用をなしている。毛細管力による移動の温度上昇に伴う作用の低下はあるが、温度上昇に伴う液体粘度の低下による内部拡散の増大はそれを僅少な割合にするので全体的にはほとんど影響がなく乾燥速度はかえって増大する。そして内部水分の移動は材温が高い事によって大きくなり材温の上昇は加熱時において、空気温度が高い事と同時に関係温度の大きい事によって時間的に著しく短縮される。（Fig1～Fig5）

100 以上の高温下では乾燥時間が短縮される事はさきに（月報 No.6）その概要を述べたし、小倉氏、平井氏等が欧州の実際のもをみて御紹介されている何れにしても実験的にも、又それからの理論からしても 100 以上では乾燥速度は増大し、木材内部の水分移動は液相としてではなく、気相として移動すると考えられている。

かかる水分移動の状態に基き 100 以上の木材乾燥は研究が重ねられ実用の域に達している。この研究の歴史は案外古く、1867 年に U.S.A の Allen と Campbell の両氏、1918 年に Tiemann 氏が Patent をとっており、その後構造材料の問題で中断されたが、1930 年に Stuttgart（ドイツ国）で高温処理とその品質につき、又 1940 年に Fischer と Czepeck の両氏により 100 以上の高温乾燥を試験研究して新分野を開拓し、第二次世界大戦で一端中断されたが、再び Egner・Eisenmann・Keylwerth の各氏により 100 以上の高温乾燥が実用出来るまでに確立され、装置製造業者 Hildebrand・Kiefer・Schilde の各社によってこの乾燥条件を棧積断面に均等に与えられる構造と耐熱湿性材料で構成された乾燥機を市場に提供している Egner 氏等による研究では被乾燥材は針葉樹が主で広葉樹では 100 以上の条件を与えるに至っていない。例えばブナ材を対照材にした場合含水率 30% 以下のものでないと諸種の乾燥欠陥を発生せずには困難であると報じている。

欧州方面では針葉樹材も乾燥材にしてかなり使用されているらしいが本邦にあっては乾燥材として使用するの、殆ど広葉樹材などで高温による乾燥も又それだけ品質の点から考えねばならない事が多い。しかし、高温の使用によりいかに乾燥するか、又、外国の例と比べていかに相違するかを見出すために 100 以上及び従来よりも高温で乾燥試験を行い乾燥の可否と時間の短縮がいかになるか試験をした。

、試験と考察

試験装置は実験用というよりむしろ小規模の生産用のもので、ドイツ国より輸入せる 75（22 頁に続く）

ラ以外の材ではブナはかなり仕上りの形状の歪曲に対して注意しなければならない、又、ニレ（アカダモ）のようなものについても同様温度及び関係湿度条件を厳重な管制の下で行わねばならないだろう。それ以外の材は（比重が 6.0g/cm^3 以下のものであれば）乾燥単位が時間的に表わされるまでに短縮がはかれると思われる。

外国の例では生材から乾燥した例は殆どなく、広葉樹材の例も少ないのでそれ等の比較検討する事は未だ早い、時間的短縮に伴う乾燥欠陥による歩留り低下を重要視しなければならない。本試験を通じて発生した欠陥は木口割れ（ナラに多い）表面割れ（ナラ、ブナに発生）材の歪曲（全ての材に多少現われたが）が多いが特に節の周辺部に使用できぬ程度のもので発生したが、歩留りそのものは必ずしも悪いものでなかったと言えよう。唯近年通直材の量も少なく且高価であるので、高温の適用は直ちにどの乾燥にも適用すべきでないだろう。勿論、一時喧伝されたような超高速乾燥は出来ないものである。比較的高温又は 100 以上の乾燥条件の適用は棧積の断面のいかなる部分も均等に任意条件が与えられるものでなくてはならない。その意味で本乾燥機は従来の I・F 型乾燥室を集約したものと見えるだろう。勿論、片流循環であるため棧積左右の温度差はあってこれは乾燥初期では 5 前後から著しいときは 10 位で乾燥が進むとその温度差も小さくなるのは水分蒸発に要するエネルギーの消費によるもので当然といえよう。

奥行方向に対する温度ムラは殆ど認められていなかったが、空気速度はターボファンなので多少あると思われるが測定は殆ど認められなかったが、空気速度は外国の報告によると下部の方が強い傾向である。

100 以上の高温を使用するので当然壁体からの熱損失に対しては前述の如く厚 100mm 程度のグラスウールを使用してあり外壁の温度も殆ど外気温と変らぬ位であるし室内空気の漏洩は排気筒以外に凝結水管に一部、温度計の部分から一部出る程度で、この点よく出来ているといえるし、今後の乾燥室の建設に当って留意すべき事であろう。Fig30 は空の状態ステイミングしながらしばらく加熱して後蒸気をとめ冷却状態をみたものである。

又空運転の場合の送風機による空気の圧縮からくる加熱は外国の例では 4 時間で 30 の温度上昇をみているが、本乾燥機ではそれ程高く上昇しないようである。

かかるように熱損失を最小限にしてあるので蒸気量の消費は従来の乾燥室に比べて少ないようであるが、温

Fig30

—— 蒸射と加熱管併用による加熱
..... 加熱管のみによる加熱

度上昇による消費量の減少を期をする事が出来るかどうかははっきり判らない。

温度及び関係湿度の自動制御については本機は前述の如く乾球温度に対してだけで、関係湿度の方は加湿も吸気、排気共に手動によるもので中途半分であるが、今後の乾燥室の構造、形式と共に考えねばならない問題である。

本乾燥機を高温乾燥に使用した場合、明かに現われる欠陥は構成材料の腐蝕である。これは高温である上に湿分が多いため構成材が著しく発錆する。当所のものではエロフィンヒーターのフィンが真先に錆蝕し代替をつくってつけ替えた位で鉄製の部分は特に注意しなければならない。はじめにもふれたが U.S.A でこの高温乾燥機が中絶したのは構成材料のためであった。材料としては最近のものはアルミニウムを使用しているが、これも純度のかなり高いものでないと耐久性が少ないだろう。このように材料の選択に厳密性を要するので自ら高価格のものになり、高温乾燥は今直ちにどの材料にも適用されるものではないだろう。それまでに解決すべき多くの事の一つずつ明かにして行きたいと思っている。

、今後の乾燥室

最近木材乾燥の形式は新しいものも、改造されるものも、熱交換が室内にあっても、室外にあっても、殆どインターナルファン形式になり、材に対し均等な乾燥条件を与えるようになってきているのが、本試験を通じてその送風の大きさと均等性からもっと進まねばならないと考えられる。特に乾燥条件の温度が高くなり、材料の流れを速やかにしなければならぬ部門では送風機の数も送風量も増加し、送風のエネルギーを風洞部分で減殺される事を極力最小限に止めねばならない。ドイツからの報告によれば送風機は材積の直前

にあたり、材自身を回転して遠心力による送風というより材間空気を均等に吹き飛ばす、遠心式乾燥機を実用に供しているという。

Fig 16

扉 HD75 乾燥機の側壁内部のグラスウール

Fig 13

コントロールバルブ断面図

湿球温度計用水は側壁の一部に埋込の水槽があってパイプで絶えず給水するようになっている。乾球温度の調節は出来るが湿球用、即ち関係湿度の調節はスチームスプレーによるが、吸気、排気のダンパーの手動によって行わねばならない。気流速度は材間 2m/sec 前後である。部分によるムラは測定出来ないので判らないが大きいようである。

乾燥試験は次のものについて行ったが、何れも生産の流れに応じたため必ずしもサンプルを一定にする事は出来なかった。又針葉樹材の乾燥材の需要が少ないので外国との比較は充分でなく、広葉樹材に対しても天乾の時間的余裕少なきため主に生材より行った。何れも一回当たり約 2.3m³でその中から供試材として 4~6 枚選んで一定時間毎に秤量測定を行った。測温は附属温度計、秤量は 7kg 台秤（ヤマト製）で行った。尚都合により断続運転になるものもある。

次に試験結果：即ち 6.5 石位の色々な材料を HD75 乾燥機で乾燥した経過を次表及び Fig18~Fig30 に示す。ここで

t	：乾燥温度	()
tn	：湿球温度	()
	：関係湿度	(%)
n	：木材含水率	(%)
ua	：初期含水率	(%)
ue	：終了含水率	(%)
	：乾燥時間	(hrs)
b	：通気運転時間	(hrs)

を表わす。

Fig17 はトドマツの板で

t : 100 前後、ua : 49.2%、ue : 93%

：13hrs で材の損傷は殆ど認められなかった。

Fig18 もトドマツの板で

Fig17

230 × 26mm トドマツの乾燥

t : 105 ~ 110 の間で、ua : 88.4%、ue : 26.3%、 : 16hrs で一断面における材質からくると思われる（アテ材）乾燥ムラが認められかつ、その部位に多少の表面割れが発生する傾向にあった。

この場合は温度よりも関係湿度をもっと高くしておく時間を長くすべきでなかろうかと思われるが初期含水率そのもののムラの拡がり範囲がかなり大きいと考えられるのでかかるものを直ちに乾燥工程に入れることが起因した無理と判じられる。

Fig19 は t : 100 ~ 110 、 = 24hrs、ua : 4

Fig 1

毛管作用及び粘土

温度と毛管作用及び粘土

a : 毛管作用 b : 粘土

(亀井氏による)

Fig 2

マツ材 20%より 15%まで乾燥させる場合の乾燥速度と温度及び関係湿度との関係

(Tuomola 氏による)

Fig 3

風速と乾燥日数

ナラ 80%より 40%まで 64 80%

(Torgeson 氏による)

Fig 4

拡散係数と温度及び含水率トウヒ材

(Egner 氏による)

Fig 5

90 における木材内部温度上昇比較、エゾマツ 20mm (時間)

a : 飽和空気中 含水率 50.4%

b : 乾燥空気中 含水率 41.4%

(松本氏による)

Fig 6

マツ 24mm 厚加熱蒸気乾燥経過 (定温、湿)

(Keylwerth 氏による)

外国 (主としてドイツ) における乾燥経過図 (Fig6 ~ Fig10) を五例示したが。

ここで t 又は t_e : 材入口温度

t_a : 材出口温度

又は a : 関係湿度

u : 木材含水率

他の事例と併せてみるに、針葉樹林の乾燥に対しては 100 以上 120 時には 130 の乾燥温度を使用している。従って乾燥時間は著しく短縮され、乾燥の単位は日数 (days) ではなく時間 (hr) に置きかえられている。しかし、広葉樹材に対しては目立った乾燥欠陥の発生を伴うから、乾燥温度を 100 以上にする事は少ないが、初期含水率が繊維飽和点以下かせいぜい 50% 以下である。特にナラ材の様に髓線の発達したものでは使用温度もそれほど高くないし、それに伴う関係湿度もかなり高く保つよう留意しているようである。

Fig 7

乾燥時間

トウヒ 48mm 原材

(Egner 氏による)

Fig 8

ブナ 38mm 厚材

(Egner 氏による)

Fig 9

ブナ 40mm 75%より 8%まで

Fig10

ナラ 25mm 40 - 45%より 10%まで

型でインターナルファン形式を機械的コンパクトにしたもので日本楽器 K.K に入ったものと殆ど同型である。即ち、送風機はターボ送風機で 1.5KW、220volt、垂直電動機に直結されて天井部に奥行約 4 メートルに対し 4 個ついており、加熱管は外径 25mm の鉄管にフィン高さ 20mm、ピッチ 9 枚 / 5cm の割で約 0.5mm のフィンを巻きつけたエロフィンパイプよりなり往 8 本、復 8 本で長さ 3950mm のヒーターで送風はこれを吹きつけて下部の材料の台車に上から横に一方的に吹流して他側より吸上げられてターボ下部入口により入っている。

材は機内の 4m×1.85m×1.02 の空間に台車に棧積されて収容され、収容棧積容積は 1.40m×1.00m×4.00m で約 6.5 石 (2.3m³) 収容出来る。材の出入は片口で乾燥試験サンプルを出入する管理用の小扉のついた扉がねじ締めで機械に対する空気の入出を密封している。内部壁は 2.7mm 鉄板で蔽われ、継目は溶接で気密を保持するに留意し、防錆のための塗料 (Inertol という商品名で石油系) 0.5mm~1.0mm 厚に隅なく塗布してある。この内張りの鉄板は鉄骨でもたせてあり約 100mm のグラスウールで底部を除き被覆して熱絶縁を期しており、その外壁は木骨に亜鉛鉄鉄板を打ちつけて化粧被覆してある。この側壁にスイッチ箱、管制箱、温度計、吸気、排気用ダンパー操作の鎖がついている。吸気、排気は天井部に 150mm 径の筒があって鎖により手動である。

温度の制御は On - Off 式で感熱部はサーモスタットになって前部についており、その電流を開閉変圧する管制箱を通して、コントロールバルブのマグネットコイルに連結している。マグネットの上下によりグイヤフラム弁の前後の差圧が解消したり、発生したりして主弁軸が下がって蒸気流量を閉止したり、上って蒸気を流すようになっている。(Fig12、Fig13)

Fig 12
温度調節電気回路

Fig 11
ナラ床板原板乾燥中の HD75 高温乾燥機

Fig 14 HD75 乾燥機の主要部分
スイッチボックス
管制箱
乾湿温度計
湿球給水用バルブ
感熱器
サーモスタット

Fig 15
送風機と加熱管

Fig26

110 × 21mm ナラ床板の乾燥

Fig27

180 × 20mm マツ板の乾燥

Fig28

90 × 21mm セン床板の乾燥

Fig29

120 × 25mm セン床板の乾燥

50%、ue : 6%、 : 45hrs で、柎目板の故か案外好結果を得た、次の Fig22 も同じ材料で少し温度を上げた結果乾燥時間も僅少なから減少した。変色及び光沢度は僅少なから減少したように思われた。

Fig23 : 端尺の故か (1 尺 ~ 3 尺) t : 90 、 ua : 58%、 ue : 8.8%、 : 52hrs、であった。材の損傷は殆ど認められなかった。

Fig24、 t : 80 ~ 85 、 ua : 70%、 ue : 14%、 t : 29hrs、割れ易いナラなどで特に注意して行った結果、割れの現象は殆ど認められなかったが、反り、曲り、擦じれの発生したものがあつた。しかしそれは使用に堪える程度に収まつた。

Fig25 ~ Fig26、 Fig24 の例から慎重に、特に関係湿度の低下に留意して行った結果、 t : 85 ~ 90 、 ua : 約 70%、 ue : 12%、 : 何れも 50hrs で終了し、著しい欠陥は認められなかったが木口割れ、表面割れの発生しているものもみかけられ、又材の変色も多少目に立った。今後もっと研究する必要があると思われる。

Fig27、トドマツの継続運転、 t : 100 ~ 105 、 ua : 58%、 ue : 15.6%、 : 50hrs、 a : 27hrs で継続運転の不利点が見れている。

Fig28、セン床板材で t : 100 ~ 105 、 ua : 75%、 ue : 12.77% で継続運転で、 b : 23hrs であつた。

Fig29 もセンで継続運転であるが運転休止時間長く、 b : 20hrs であつた。

以上の乾燥例から見ると針葉樹では外国の例まで行かないが、時間の短縮を得た事は一応の成果である、これ等の場合も乾燥時間の上昇は更に大きく出来る材厚もあると思われるが、30mm 以上の水分分布状態の不均一な、例えば辺心材の混じた、或はアテ材の多いものについては更に研究の余地があると思われるし、又、関係程度の運び方にも未だ残る問題があると判じられる。材質については詳しい物理的検討は今後になすべきであるが、外国の研究では高温処理材程材幅 (恐らく板目板についてであろう) の吸湿増加は 60 乾燥材に比して 70% 前後に止まっている。又吸湿、脱湿のシステレンスは何れも天乾材、60 人工乾燥材に比して値が小さい。圧縮強度は 100kg / cm³ 前後小さい値を示すもので、接着強度は殆ど変わっていないと報告している (Egner 氏による)。

広葉樹材の乾燥は、むしろこれ等の材の方が本邦では乾燥需要の大半をしめるものであるが、今までの経験からおすと厚物に対しては大きな期待をもてないといえるだろう、特にナラの属のようにかなり比重も大きく、髓線の発達したものは何らかの処理をしない限り 100 以上の乾燥条件を与える事は困難と思われる。本試験では天然材含水率 30% 前後について供試出来なかったものは残念であるが、特にナラの乾燥では未だ解決すべき条件の適用が問題となつて残っていると考えられる。しかしあまり高含水率でない (50 ~ 60% 位) のもので厚も 22 ~ 23mm 位の繊維走向の整つたものに対しては本試験例のように単位が時間的に表現される時間で乾燥されると確信する。ナ