単板の乾燥特性に関する研究（第2報）

乾燥温度の単板品質に及ぼす影響

筒本卓造[1]
佐藤庄一[2]

1. まえがき

第1報，単板の乾燥速度の章において，乾燥速度を支配するもっとも大きな因子は乾燥機内の温度であり，乾燥時間を短縮するためにはできるだけ高温を採用する方が有利であることを示した。そして，実際の乾燥工程においてもラワン単板や，ダグラスファー単板では，乾燥時間を重視して機内温度をしだいに高くする傾向にあり，方法的にボイラーの蒸気圧をたかめることだけでなく，重油やガスの燃焼熱の直接的な利用も試みられている[1)2)]。

一方，このような高温で乾燥することの材質に及ぼす影響については，従来からしばしば論議されるところであり，乾燥条件によっては当然，接着力や強度的性質の低下が考えられ，乾燥温度は乾燥時間だけでなく，乾燥単板の品質の点も十分考慮したうえで決定さるべきものであろう。

乾燥温度と単板品質との関係については，すでに NORTHCOTT，MACLEAN らの多くの実験結果が報告されているが[1)2)3)4)5)]，これらは乾燥温度，時間のみを規正し，乾燥終了時の含水率についてはほとんど考慮しておらず，その多くは全乾状態まで乾燥したときを問題にしている。

しかし，実際の乾燥工程ではある程度以上の含水率をもって乾燥を終わるのが原則であって，このような状態で単板がうける温度は全乾まで乾燥する場合と当然異なるはずである。

以上のことから，この報告では，最初に各種温度における乾燥中の温度経過を測定して単板の温度履歴を明らかにし，つづいて乾燥程度を生産工程で目標とされている仕上がり含水率5～10%にした場合と，極端に過乾燥した場合とにわけて，それぞれ乾燥温度の単板品質に及ぼす影響を検討している。なお，乾燥単板の品質としてとりあげたものは，吸湿性，湿潤性，吸水性，接着性および強度的性質である。

実験を行なうにあたり，ご指導をいただいた木材部加工科長寺沢　真氏，ならびに接着研究室，強度研究室の各位に深く感謝する。

2. 実験方法

供試材として国内産広葉樹およびラワン類から各1樹種をえらび，北海道産マカンバ（*Betula maximowicziana* REGEL）および比島ブツアン産レッドラワン（*Shorea negrosensis* FOXWORTHY）を用いた。

実験はこれらのスライスド単板について行なっており，20×20×100 cmの正柾目フリッチを 50°C で 24 hr 煮沸したのち，厚さ1 mmに切削した。

原木の比重，収縮率を Table 1 に，また，供試した単板の裏割れ程度，表面の状態の例を Fig. 1 に示

(1)　木材部加工科乾燥研究室長・農学博士　(2)　木材部加工科乾燥研究室

す。

乾燥装置は第1報，Fig.1 に示したものを用い，長さ 20 cm に切断した試料を次のような温度条件において乾燥した。すなわち，乾燥温度を 100～180°C の範囲で 20°C きざみの 5 段階にかえ，比較のために 20°C（天然乾燥）と60°Cを補足した。なお，湿度は外気をそのまま加熱した条件（絶対湿度 約 0.02kg /kg dry air）風速は 2.2 m/sec 一定とした。

以上のような条件下において仕上がり含水率が 5～10%，および 0 %（100°C 以上の場合）になるよう乾燥時間を調整し，後者では全乾後さらに 1 hr その条件中に放置した。これらの乾燥単板は恒温恒湿室（温度20°C，平衡含水率11～12%）において十分調湿したのち供試した。

Table 1. 供試材の比重と収縮率
Related properties of test bolt.

樹種 Species	全乾比重 Specific gravity, oven-dry	全乾収縮率 Shrinkage, green to oven-dry	
		接線方向 Tangential (%)	半径方向 Radial (%)
マカンバ Birch	0.67 (0.65～0.68)	8.4 (8.1～8.6)	7.0 (6.7～7.2)
Red lauan	0.41 (0.39～0.43)	8.4 (8.1～8.7)	3.3 (3.1～3.5)

マカンバ スライスド 単板 1.0mm，裏割れ深さ 30～50 %
Birch sliced veneer, 1.0 mm, Depth of lathe check 30～50%.

レッドラワン スライスド単板 1.0 mm，裏割れ深さ 0～20%
Red lauan sliced veneer, 1.0 mm, Depth of lathe check 0～20%.

Fig.1 供試単板の品質
Surface quality and lathe checks of test veneer.

実験の内容とその測定方法は次のとおりである。

1） **単板温度の経過**

単板温度の測定方法は，第1報　乾燥経過の章でのべたのと全く同様で，上記の単板2枚の間に熱電対をはさんで平行接着して 2.0 mm 単板とみなし，電子管式自記記録計により温度経過を連続記録する。なお，この温度の測定は100～160°C の範囲についてのみ行なっている。

2） **乾燥単板の材質**

a）吸　湿　性

吸湿性としては吸湿速度と吸湿後の平衡含水率が問題になるが，ここでは後者のみをとりあげ，乾燥単板をそのままの大きさで上記の条件に平衡させてそのときの含水率を求める。試料数は各条件3枚とした。

b）湿　潤　性

湿潤性（ぬれ）を表わすのに普通接触角が用いられるが，表面のあらさに支配されて測定が容易でないため，乾燥単板を木粉にし，これをガラス管につめて毛管上昇の経過を求めた[6)7)]。その方法は含水率約11%に調湿した単板を破砕機にかけて木粉とし，標準篩により粒度30～40 mesh のものをえらびだす。これを内径約5.5 mmのガラス管に高さ約20 cmつめ，Fig. 2のように水中にたてて一定時間ごとに上昇高を測定する。このとき水温は20°C に調整している。

c）吸　水　性

乾燥単板を調湿後水中に浸漬して吸水経過を求める。試料は20×19 cm の単板を4等分し，これら4枚について JIS Z 2104 に準じて行なう。

d）接　着　性

同一条件で乾燥した単板3枚を調湿後ユリヤ樹脂接着剤により接着し，合板の接着力を求める。接着剤の配合，圧締条件などは次のとおりである。

接着剤液：ユリヤ樹脂（ユーロイド#120）100部，小麦粉 27部，水 45部，塩化アンモン 1部

塗付量：20 g/(30 cm)²

冷圧：10 kg/cm², 2 hr.

熱圧：105～110°C, 10kg/cm², 3 min.

接着力試験は合板の農林規格，温冷水浸漬試験によって行ない，試料数はおのおの20枚とする。

e）強度的性質

強度的性質として横引張り強さをとりあげる。予備試験の結果単板での測定が困難であったため，調湿した単板3枚を互いに平行方向に接着した試料から幅（繊維方向）3 cm，長さ18 cm，断面縮小した部分の幅 2.0 cm，同部分の長さ 5 cm の試験片をとり，ヤング係数と破壊応力を求める。

試験機は最大能力 1000 kg のオルゼン型試験機を能力 100 kg にして用い，歪み量は試験片の中心部にとりつけた鏡式歪み計（Knife edge type，標点距離 40 mm）により測定した。なお試験片数は各条件ごと5枚とする。

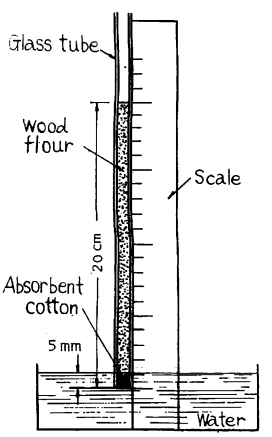

Fig. 2　木粉カラム中の毛管上昇の測定法
Measuring method of capillary water rise in column filled with wood flour.

3. 実験結果と考察

1) 単板温度の経過

各種の外周温度条件において単板を乾燥し，単板中央部の中心温度の経過を測定した結果を Fig.3 に示す。Fig.4 は，これらを含水率との関係において求めたものである。

このような単板の温度上昇経過については外周空気温度120°Cの例をすでに第1報に示したが，異なった空気温度においてもほぼ類似した経過がえられ，単板温度の時間的経過は湿球温度付近と 100°C 付近(120°C 以上の高温の場合)でわずかに変曲するほか，全体的には凸形の曲線をもって上昇し，最後に蒸発がなくなったとき空気温度に達する。一方，含水率との関係では低含水率になって蒸発量がすくなくなるにつれて温度の上昇は著しくなり，各空気温度での単板温度の差は含水率が全乾に近づいたとき急激に増加する。

従って，ここで問題にする含水率5～10%まで乾燥した場合，空気温度が高くなっても単板温度はそれほど高くならず，さらに空気温度が高くなるほどその含水率に達するまでの時間が短くなる。このようなことから，単板の乾燥では外周空気温度が高くなっても over dry しない限り，単板温度はそれよりかなりひくい温度にとどまり，実際の乾燥工程で単板が与えられる熱の累積効果は乾燥温度によってそれほど大きな差はないものと考えられる。

2) 乾燥単板の材質

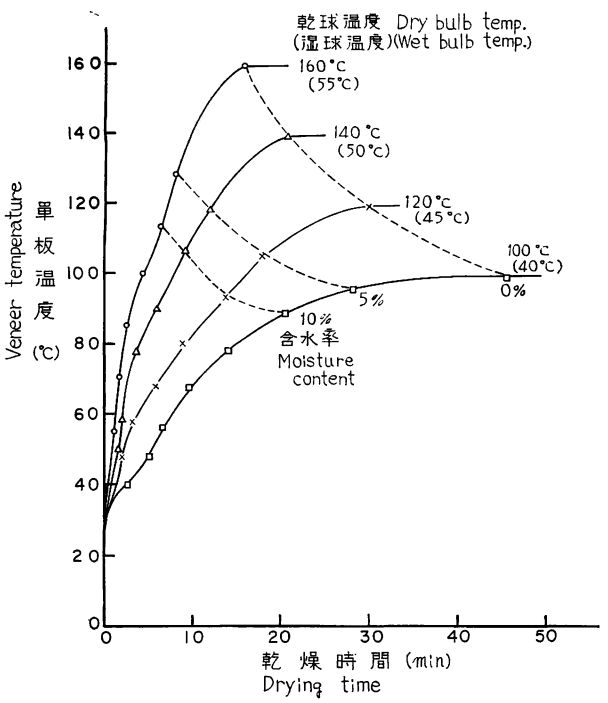

Fig.3 各種乾燥温度における単板の温度経過(1)
Veneer temperatures during drying at different air temperatures.
Specimen and drying condition : 2 mm thick birch sliced veneer, size 20×20 cm, air velocity 2.2 m/sec.

a) 吸湿性：調湿後の平衡含水率

乾燥単板を一定条件で吸湿させたときの平衡含水率を Fig.5 に示す。マカンバ，レッドラワンとも乾燥後の含水率5～10%の場合は乾燥温度によって平衡含水率はほとんどかわらず，全乾後 1 hr 放置したものでは温度の上昇にともなって平衡含水率がしだいにひくくなる傾向がみられる。図のなかで天然乾燥した単板の含水率が 60°C で乾燥したものより約 0.5 %高いことは，前者が乾燥による平衡であり後者が吸湿による平衡であるためと思われる。ただ，室内空気条件がいくぶん変動するので，いわゆるヒステリシスによる含水率差よりははるかに小さい。

以上のような，木材が加熱されることによる吸湿性の低下は従来からよく知られていることで，セルロースの結晶領域量の増加とヘミセルロースの熱化学的変

化が原因と考えられており，吸湿量の低下は加熱時間の対数に比例するといわれている[8]。従って，上述の平衡含水率の差も全乾後の放置時間（加熱時間）が長くなるほど大きくなるものと考えられるが，単板の乾燥工程ではこのような状態はおこりえず，以上の結果から普通の乾燥程度であれば乾燥温度による平衡含水率の差はほとんどないものと思われる。

b）湿潤性：木粉カラム中の毛管上昇

前述の方法により測定した毛管上昇高の時間的経過の例をFig.6に示す。このように毛管上昇は最初著しく早く，しだいに上昇速度が小さくなる。実用的には初期の段階における上昇速度が重要と考えられるが，この段階では非常にばらつきが多く再現性がとぼしいので，ここでは経過時間10分および1時間の上昇高を求めた。各乾燥温度についてのそれらの結果をFig.7に総括して示す。

最初にマカンバ単板についてみると，含水率5～10%まで乾燥したものでは温度による差はすくなく，全乾したものの毛管上昇高は経過時間10分のとき，160°C以上のものがかなり小さくなり，1時間経過したときの上昇高も乾燥温度の上昇とともにしだいに小さくなっている。

また，ラワン単板ではマカンバ単板より全体的に小さな値を示し，含水率5～10%まで乾燥したものも温度の上昇によって毛管上昇がやや小さくなる傾向がみられる。全乾のものではその傾向が非常に顕著で，180°Cで全乾にした単板の木粉では，1時間経過後も毛管上昇はほとんどおこらなかった。

このようにレッドラワンがマカンバに比べて毛管上昇が小さく，乾燥温度の影響が大きいことは

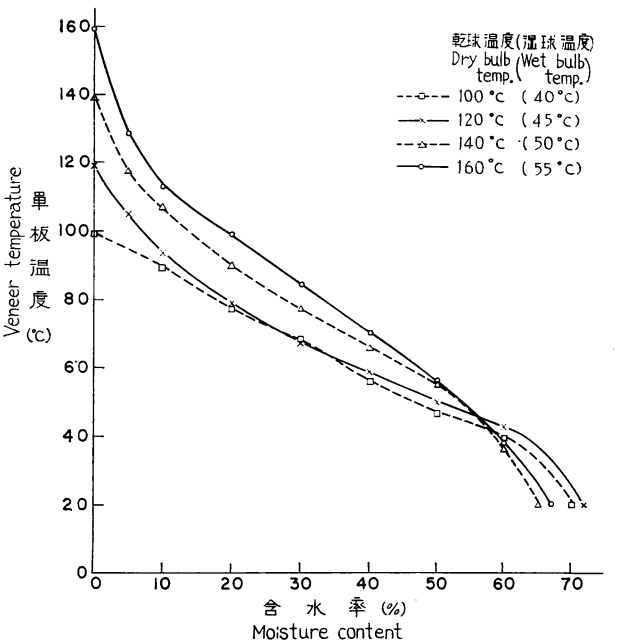

Fig.4　各種乾燥温度における単板の温度経過 (2)
Relationship between veneer temperature and moisture content at different drying temperatures.
Specimen and drying condition is same as shown in Fig.3.

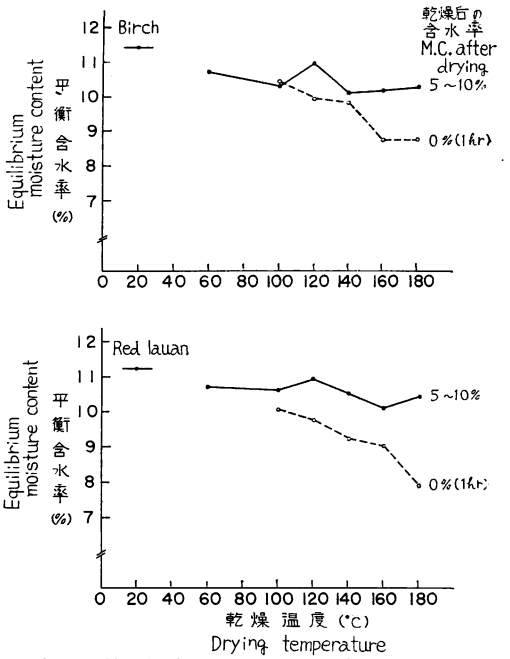

Fig.5　乾燥温度と調湿後の平衡含水率との関係
Relationship between drying temperature and equilibrium moisture content of dried veneer after conditioning.
Veneer thickness 1mm, conditioning temperature 20°C, conditioning equilibrium moisture content 11～12%.

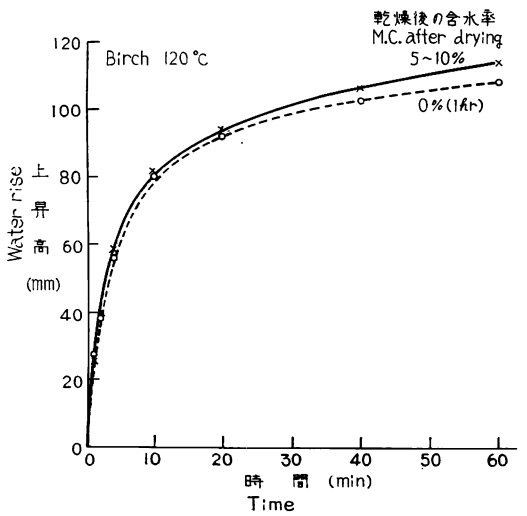

Fig. 6　木粉カラム中の毛管上昇の経過
Progress of capillary water rise in column filled with wood flour from dried veneer.
Size of wood flour 30～40 mesh, inside diameter of tube 5.5 mm, water temperature 20°C.

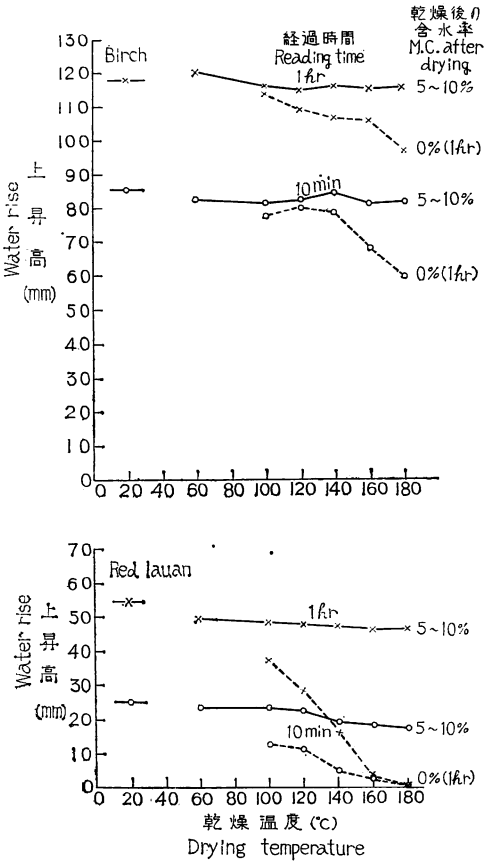

Fig. 7　乾燥温度と毛管上昇高との関係　→
Relationship between drying temperature and height of water rise in column filled with wood flour from dried veneer.
Specimen and testing condition is same as shown in Fig. 6.

樹種による特性的なものと考えられ，ブナ単板について実験した結果でも辺材はマカンバと類似し，心材はレッドラワンと同様上昇高が小さくて温度の影響も大きいことが示された (Table 2)。

以上のような毛管上昇と乾燥温度との関係は樹種によってかなり異なるが，共通した傾向としてはいずれの場合も含水率5～10%まで乾燥したとき温度の影響はそれほど大きくなく，長時間高温をうけたとき初めて顕著な影響があらわれるものといえる。

ここでの実験方法に関連して，木粉カラム中の毛管上昇高がどの程度厳密に材料の湿潤性を示しうるかはなお検討されなければならないが，この上昇高は毛管径，液体の粘度，表面張力が一定である限り接触

Table 2.　各種樹種の木粉カラム中の毛管上昇高
Height of capillary water rise in column filled with wood flour for several species

樹種 Species	ブナ (心) Beech (heart)		ブナ (辺) Beech (sap)		マカンバ (心) Birch (heart)		Red lauan (heart)	
乾燥条件 Drying condition / 経過時間 Reading time	60°C (5～10%) (mm)	180°C (o.d.) (mm)	60°C (5～10%) (mm)	180°C (o.d.) (mm)	60°C (5～10%) (mm)	180°C (o.d.) (mm)	60°C (5～10%) (mm)	180°C (o.d.) (mm)
10 min	44.5	8.5	95.0	67.5	82.5	58.5	23.7	0
1 hr	77.0	33.0	124.0	94.5	120.0	96.5	49.5	0

Size of wood flour 30～40 mesh, inside diameter of the tube 5.5mm, water temperature 20°C.

角によって定まるはずで，実用的な意味での湿潤性を示す指標には十分なりうるものと考えられる。

c）吸　水　性

温度120℃で乾燥したマカンバ単板の吸水経過の例を Fig. 8 に，また各温度についての吸水時間 10 分および1時間後の測定結果を Fig. 9 に示す。

ここでマカンバ単板の含水率5～10%まで乾燥したものでは乾燥温度120℃の場合が大きく，140℃の場合が小さい値をえているが，温度との間に特定の関係はみとめられない。しかし，全乾にしたものでは160℃，180℃のものの吸水後の含水率はしだいに小さくなる傾向がみられる。また，レッドラワン単板で5～10%まで乾燥したものでは，マカンバ単板と同様それほど大きな差はみられないが，全乾のものでは温度の上昇にともなって吸水後の含水率が著しく小さくなる。

このように吸水性に対する温度の影響は，吸湿性，湿潤性と同様にレッドラワンの方がより顕著であるが，供試した2樹種とも乾燥程度5～10%のものについては乾燥温度の上昇による吸水性の低下はあまり問題にならないように思われる。

d）接着性：合板の接着力

乾燥単板を調湿後接着して，温冷水浸漬試験を行なったときの引張り剪断接着力を Fig. 10 に示す。

最初にマカンバ合板の接着力をみると，含水率5～10%まで乾燥した場合は160℃，180℃のものでわずかに接着力がひくくなっているが全体的にその差はすくなく，全乾にした場合は100℃，120℃をのぞいて温度の上昇とともに接着力がかなり低下している。また，レッドラワン合板でも含水率5～10%まで乾燥したとき特定

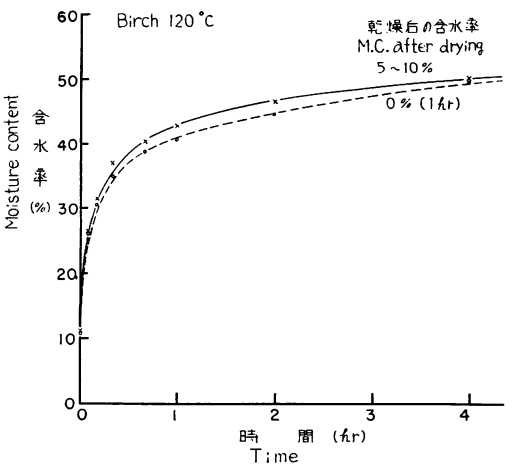

Fig. 8　単板の吸水経過

Progress of water sorption of dried veneer, expressed by increase of moisture content.

Veneer thickness 1.0 mm, size 10×9.5 cm, water temperature 20°C.

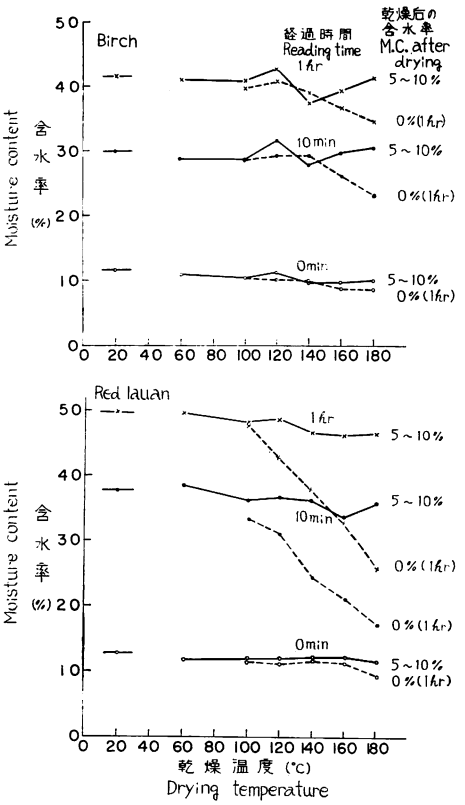

Fig. 9　乾燥温度と吸水量（含水率）との関係

Relation between drying temperature and water sorption(increase of moisture content) of dried veneer.

Testing condition is same as shown in Fig. 8.

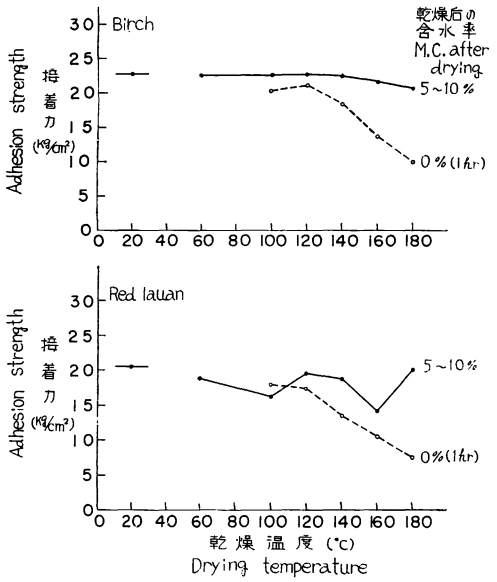

Fig. 10　乾燥温度と接着力との関係

Relationship between drying temperature and adhesion strength of plywood constructed with three dried veneer.

Adhesive urea formaldehyde resin, test method of adhesion strength hot and cold soaking test in J A S

ている状態での単板の強さと考えることができるが，マカンバ単板の場合乾燥温度によるヤング係数の差はそれほど大きくなく，また，破壊応力も180°Cで全乾にしたものが小さな値を示すほかは乾燥温度との間に明らかな傾向はみとめられない。また，レッドラワン単板の場合も5～10%まで乾燥したものでは乾燥温度との関係は明らかでなく，全乾にしたものでは温度の上昇によってこれらの値がやや小さくなっている。一方，Fig. 12 のなかで素材として示した値は比較のためにひき材（厚さ4 cm）を天然乾燥後60°Cで含水率5～10%まで乾燥し，JIS Z2111 に規定されている方法により測定した結果である。これらを同条件で乾燥した単板の場合と比較したとき，ヤング係数はほぼ近似した値がえられているが，破壊応力は素材の約1/2の値となった。このような相違が単板とひき材との本質的な品質差に起因するものか，試料の欠

の傾向はみられないが，全乾にしたものでは乾燥温度の上昇によって接着力が著しく小さくなる。

このような合板の接着力は前述の湿潤性と密接な関係があるものとされており[9]，温度との関係は毛管上昇高の測定結果とほぼ類似している。ただ，高温で全乾にしたラワンの接着力の低下は，毛管上昇高の場合ほど大きくない。

e）強度的性質：平行張り合板の横引張り強さ

乾燥単板を調湿後3 ply 平行ばり合板とし，横引張り試験を行なったときの応力—歪曲線の例をFig. 11 に，また各温度条件についてヤング係数と破壊応力を求めた結果を総括して Fig. 12 に示す（最大歪みは正確な測定が困難であったため除外した）。

これらの測定値は互いに接着され合板を構成し

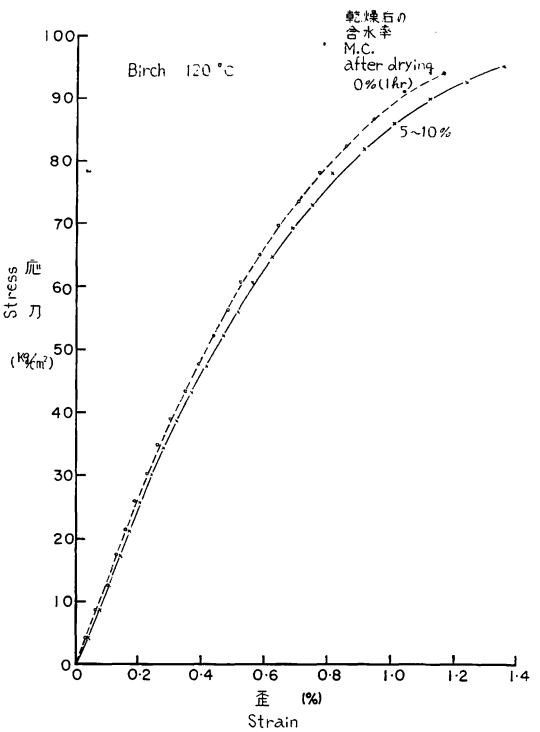

Fig. 11　横引張りにおける応力—歪曲線

Strain-stress curve in tensile test perpendicular to grain for plywood constructed with three dried veneers in same fiber direction.

Measuring method of strain knife edge type, gauge length 40 mm.

曲，保持法などの実験条件によるものかは明らかでなく，うすい試料について横引張り試験を行なうこと自体にかなり問題があるように思われるが，この試験のように，単板相互の比較のためには役立つものといえよう。

以上の結果から単板を生産工程で目標としている5～10%程度まで乾燥する場合，横引張り強さに及ぼす温度の影響はそれほど顕著なものでないということができる。なお，乾燥温度と単板の曲げ強さとの関係について NORTHCOTT の実験結果が報告されているが，ここでは今まで試験してきた温度範囲よりさらにたかい 375°F（191°C）以上で曲げ強さの低下が大きくなり，全乾後の時間の経過によってこの傾向が助長されるとのべており[4]，上述の結果と同一温度範囲についてはほぼ一致している。しかし，横引張り，曲げ以外の強度的性質，とくに動的な荷重のうけ方をした場合も乾燥温度の影響が同様であるかどうかは今後さらに検討されなければならない問題であろう。

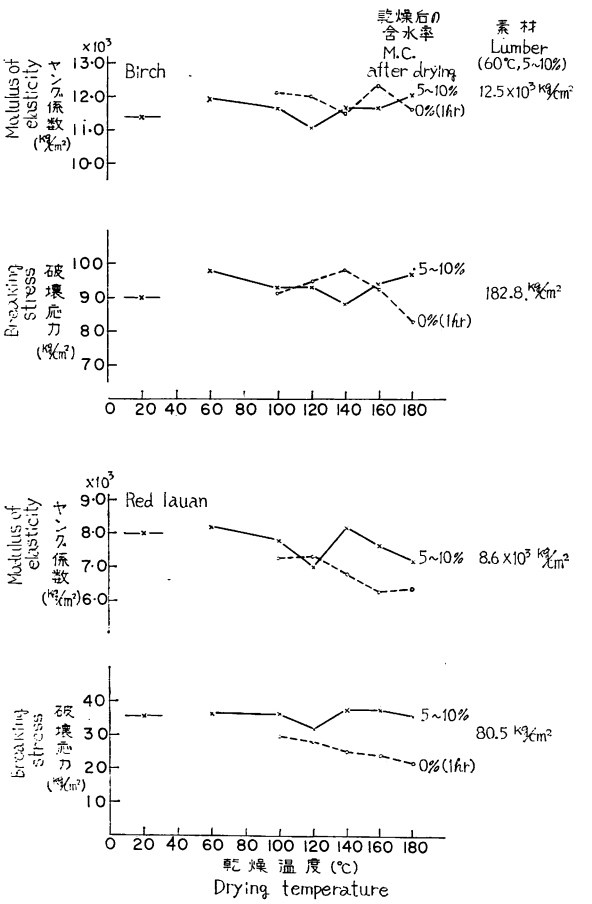

Fig. 12　乾燥温度と横引張り強さとの関係
Relationship between drying temperature and tensile strength perpendicular to grain for plywood constructed with three dried veneers in same fiber direction.

4. むすび

以上のように，乾燥機において対象となると考えられる温度範囲で乾燥し，単板の吸湿，湿潤，吸水，接着，強度などの諸性質を比較した結果は，温度の影響の仕方がとりあげる性質によってある程度異なり，水分に関係した性質の変化が比較的大きいことを示した。

しかし，一般に乾燥工程で行なわれているように仕上がり含水率5～10%を目標とし，極端に over dry しない場合はいずれの性質についても乾燥温度の影響はすくなく，実務的には高温で乾燥することによる単板の材質低下はほとんど考慮する必要がないように思われる。そして，おのおのの温度条件下に乾燥後も放置し，単板がある時間その温度をうけた場合初めて材質の変化があらわれるものといえよう。

従来多くの研究結果において，高温での乾燥による材質低下が報告されているが，これらは主として後者のような条件についてえられた結論であって，乾燥機での乾燥温度についてそのままあてはまるとはいえない。

ただ，いままでのべてきた実験ではつねに仕上がり含水率を一定とし，十分調湿した単板の材質をとり

あげているが，実際の生産工程での状態をみたとき，高温で乾燥する場合低温で乾燥するより over dry になりやすく，平均的な仕上がり含水率がひくいのが普通である。そして，含水率がひくすぎるために接着力が低下したり[10)11)]，あるいは単板がもろくなるなどのことがおこり，これが高温での乾燥による材質低下とみなされがちである。このような現象も現場的な広い意味では温度の影響といえようが，本質的には異質なものであって，乾燥温度そのものの材質への影響とはきりはなして考えるべきであろう。

文　　献

1) Currier, R. H.: High drying temperature —— Do they harm Douglas-Fir veneer ? For. Prod. Jour., 8, 4, (1958)
2) Sisterhenm, G. H.: Evaluation of oil-fired dryer —— its effect on glue bond quality. For. Prod. Jour., **11**, 5, (1960)
3) Northcott P. L.: The effect of dryer temperature upon the gluing properties of Douglas-Fir veneer. For. Prod. Jour., **7**, 1, (1957)
4) Northcott P. L. and H. G. M. Colbeck: Effect of dryer temperatures on bending strength of Douglas-Fir veneers, For. Prod. Jour., **9**, 9, (1959)
5) Maclean, J. D.: Effect of heat on the properties and serviceability of wood, Experiment on thin wood specimens. Rept. 1471, For. Prod. Lab. Madison, (1954)
6) 佐道　健：木粉カラム中の毛管上昇を応用した“ぬれ”の測定（予報），12回木材学会研究発表要旨，(1962)
7) Boidig, J.: Wettability related to gluabilities of five Philippine Mahoganie, For. prod. Jour., **12**, 6, (1962)
8) 梶田　茂編：木材工学，養賢堂，(1961)
9) Freeman, H. G. and F. F. Wangard: Effect of wettability of wood on glue-line behavior of two urea resins. For. Prod. Jour., **10**, 6, (1960)
10) 堀岡邦典：材質改良に関する研究(VI)，接着に関与する木材の性質，林試研報，89，(1956)
11) 半井勇三：実用木材接着剤，槇書店，(1958)

Studies on the Drying Characteristics of Veneer (II).
On the effect of drying temperature on the properties of dried veneer.

Takuzô Tsutsumoto and Shôichi Satô

(Résumé)

Veneer can be dried rapidly by elevating drying temperature, but there is a risk that degradation of veneer will be caused during the drying at the high temperature.

This study has been conducted to examine the effect of drying temperature on the properties of dried veneer. The Outline of results obtained from this experiment is as follows :

The veneer temperature during drying at various air temperatures was elevated gradually with the decrease of moisture content of veneer, and the veneer temperature reached at the end of drying was remarkably different according to the final moisture content (Fig. 3, 4).

When red lauan and birch veneers were dried to 0% and heated for one hour more at various temperatures in the range of 100°C to 180°C, the degradation of veneer properties such as moisture sorption, water sorption, wettability, gluability and strength was decreased with the elevation of drying temperature, and the wettability of red lauan was reduced considerably at the high drying temperature above 160°C in comparison with the other properties. But, when these veneers were dried to the moisture content in the range of 5% to 10% which was considered as the most suitable value in the regular plywood production, the difference of the above-mentioned properties of dried veneer was not significant (Fig. 5～12).

It may be concluded, therefore, that the properties of veneer were not impaired by the short drying time achieved by the relative high temperature as long as the final moisture content of veneer was sufficiently controlled.