

乾式ハードボードに関する研究 (第1報)

熱圧因子がボード材質に及ぼす影響*

松 田 敏 誉⁽¹⁾

佐 野 弥 三 郎⁽²⁾

I 緒 言

アメリカで世界で初めての乾式ハードボードの工業生産が行なわれてからすでに 10 数年が経過し、以来この工業はほぼ順調に成長してきた。その間、乾式ハードボード製造について多くの報告が発表され、そのなかには総説的なものが多く⁹⁾²¹⁾、製造原理についてはかなり詳しい記述がなされているものもみられるが⁴⁾¹⁰⁾²²⁾、製造技術に関する各論ともいべき実験報告はきわめて少ない。

ハードボードは湿式、乾式を問わず原料木材をファイバーに分解するための蒸煮、解繊を行なう原質部門と、このファイバーをふたたび集合してボードにするための成形、熱圧を行なう成板部門の2つの工程から成り立っている。いま後者のうちの熱圧工程について湿式、乾式および湿—乾式 (U.S. Wallboard 方式) の比較をすると Table 1 のようになる。

この表から湿式と乾式とでは熱圧条件に大きな相違があることが知られる。たとえば、圧縮圧力の変化の操作が乾式では1回少ないが、その制御は短時間のうちに行なわなければならない。

湿式および湿—乾式のボードの実用上の強度は熱圧工程によって決定されるが、Table 1 のⅢのマットはすでにA級インシュレーションボードに等しい強度をもっており、Ⅰのマットも乾燥すれば相当の強度を生ずる。Ⅱのマットは、これを十分に吸水せしめていったんウエットマットとし、ふたたび乾燥してもその強度は前2者に比しゼロに等しい⁵⁾。いいかえると乾式ハードボードはファイバー間のからみ合いがほとんどないため、熱圧工程において初めて強度が与えられる。このことはハードボード工業がプラス

Table 1. ハードボード熱圧法の比較
Comparison of hot pressing methods.

区 分 Symbol	方 法 Method	マットのドライネス Dryness of fiber mat (%)	熱板温度 Plate temperature (°C)	最高圧縮圧力 Maximum pressure (kg/m ²)	圧力タイプ Pressure type	圧 縮 時 間 Pressing time (min)
I	湿 式 Wet	30~40	180~200	50~55	3 段圧縮 Three steps	7~10
II	乾 式 Dry	88~95	210~240	60~70	2 段圧縮 Two steps	2~3
Ⅲ ²³⁾	湿 乾 式 Wet-dry	100	254~260	78	息抜あり Do breathing	1.6

注 ボード厚さ Thickness of board: 3.2~3.5 mm

* この研究の一部は第 14 回木材学会大会 (1964, 4) において発表した。

(1) 林産化学部林産化学第三科繊維板研究室 (2) 林産化学部林産化学第三科繊維板研究室長

チェックスや不織布などと類似した成型工業の 1 種とみられることを、乾式では特に端的に示しているものといえよう。ちなみに、フェノール樹脂成形物の熱圧時間は製品厚さ 1 mm につき 0.5~1 分といわれており、乾式ハードボードのそれも大体この程度である。

単に熱圧条件といっても製品の性質に影響を与える因子は非常に多いが、これを 2 つの群に分けて考えることができるであろう。1 つは熱圧操作そのものに含まれる因子で、熱板温度、圧縮圧力、圧縮時間等いわば被成型物の外的因子と、1 つはファイバーの物理的および化学的性質、含水率、添加剤の種類や量等いわば被成型物の内的因子である。

ハードボードの性質を論ずるにあたって、強度的性質とともに、特に乾式ではボードの外観に対する評価を同時に行なうことも重要であるが、この研究は、熱圧の際の主として外的因子が製品ボードの一般的材質にいかなる影響を与えるかを検討し乾式ハードボードの熱圧成型機構に関する基礎的知見をうることを目的として行なったものである。

数値計算にあたって、懇切な助言を与えられた鈴木岩雄技官に厚くお礼申しあげる。

II 実 験 方 法

1. 因子の決定

ボードの材質に与える加圧速度¹⁶⁾や圧力スケジュール等の外的因子の影響は知られているが、本実験では最も一般的な 2 段圧縮法について、熱板温度、初期圧縮圧力とその保持時間、後期圧縮圧力とその保持時間および内的因子のうちからマット含水率の 6 個の因子をとりあげ、その記号と 3 水準に定めた内容を Table 2 に示した。なおこれら 6 因子個々の主効果のほかに、交互作用も予想されるので、特に重要な熱圧 3 大因子の Q 、 P_1 および t_1 について 2 因子交互作用が求められるように、直交表 $L_{27}(3^3)$ に Table 2 のように割りつけを行なった。実験計画のたて方については、一般書²⁾¹⁹⁾のほかに新納ら⁷⁾の報告を参考にした。

Table 2 に示した因子の水準値は実際には次のようなバラツキを生じた。 $Q: \pm 5^\circ\text{C}$ 、 $P_1: -7 \sim 2 \text{ kg/cm}^2$ 、 $t_1: \pm 1 \text{ sec}$ 、 $P_2: \pm 2 \text{ kg/cm}^2$ 、 u : 第 1 水準の範囲 7.7~8.3%，第 2 水準 10.0~10.5%，第 3 水

Table 2. 因子と水準
Factors and levels.

因 子 Factors	記 号 Symbol	単 位 Unit	水 準 Levels		
			第 1 First	第 2 Second	第 3 Third
熱 板 温 度 Temperature of hot plate	Q	$^\circ\text{C}$	190	210	230
初期圧縮圧力 Initial pressure	P_1	kg/cm^2	50	60	70
初期圧縮時間 Initial pressing time	t_1	sec	10	20	30
後期圧縮圧力 Final pressure	P_2	kg/cm^2	7	14	21
後期圧縮時間 Final pressing time	t_2	sec	120	180	240
マ ッ ト 含 水 率 Moisture content of mat	u	%	8	10	11

Table 3. 因子のわりつけ
Plans to orthogonal table $L_{27}(3^8)$.

列番 Column No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
因子効果 Effects of factors	Q	P_1	$Q \times P_1$	$Q \times P_1$	t_1	$Q \times t_1$	$Q \times t_1$	$P_1 \times t_1$	e		$P_1 \times t_1$	u	t_2

Table 4. 供試ファイバーの性質
Properties of used fibers.

デファイブレーターろ水度 Defibrator freeness sec	乾式篩分け試験 Fraction distribution by dry screening				pH	見かけ容積重 Apparent density (Air dry) g/cc
	14 mesh on %	14~50 mesh %	50~100 mesh %	100 mesh through %		
12	12	29	16	43	4.7	0.043

準 10.8~11.4%。

2. ファイバー調製

東北地方産ブナチップ (含水率約 80%) を C 型アスブルンドデファイブレーター (100 HP, プレート No. 611 SD) により, 水蒸気圧 9 kg/cm^2 , 蒸煮時間約 2.5 分で連続解繊を行なった。得られた粗ファイバーを $70 \sim 80^\circ\text{C}$ の熱風により含水率 10% まで乾燥し, 精砕, 篩分けをせずそのまま供試ファイバーとした。

ファイバーの篩分け (15 g, 15 分間標準篩で振とう) 結果, pH^{20} (全乾 10 g のファイバーを 100 cc の水に 20 時間懸濁させたものにつき測定) および容積密度 (吸引を行わずにホーミングしたマットより算出) を Table 4 に示す。篩分け各フラクションの拡大写真を Plate に示す。

3. レジン混合

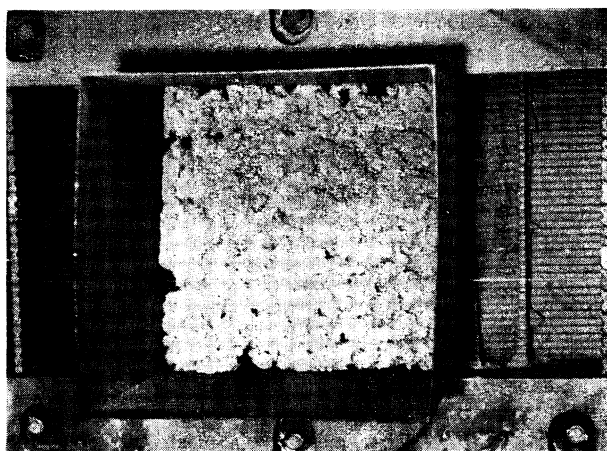
供試ファイバー 600 g を底部に攪拌翼をもつブレンダー (直径 50 cm, 高さ 70 cm) に入れ, ファイバーの 2% (全乾重量比) の石炭酸樹脂接着剤 (スミライトレジ PR 9500) を 20% 溶液にうすめてスプレー (ノズル径 1.3 mm, 空気圧力 2 kg/cm^2 , 約 2 分間) し, $60 \sim 70^\circ\text{C}$ の熱風により 8 分間乾燥した。この時のファイバー含水率は 8~10% であった。このファイバーを, 実験用スプラウトワルドロン型リハイナー (間隔 2.5 mm) にかけて, レジンの混合を完全に行なった。なお, 防水剤は使用しなかった。

4. ホーミング

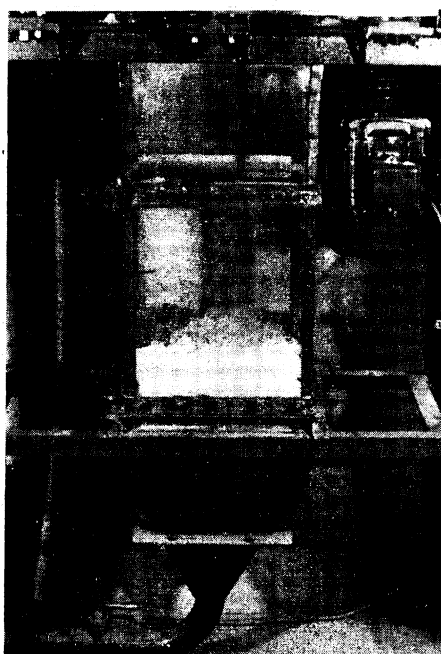
振動するピアノ線によって, ファイバーの分散堆積がなされる実験用ドライホーミングマシン (Phot 1) により, 520 g のファイバーを $35 \times 35 \text{ cm}$ の大きさに, 底部より $2.4 \text{ m}^3/\text{sec}$ の吸引をしつつ単層構成のホーミングを行なった。このマットを圧縮圧力 10 kg/cm^2 によりプリプレスして厚さ約 2.5 cm のマットを得た。

5. マット水分の調整

第1水準のマットは 20°C , 45% RH, 第2水準のマットは 20°C , 65% RH, 第3水準のマットは 20°C , 75% RH の条件の恒温恒湿室内におのおの約 24 時間放置して, 調湿を行なった。



上部ホッパーとピアノ線



下部ホーミング棒と吸引部

Phot 1. 振動式ドライホーミングマシン
Vibrating system dry forming machine.

6. 熱 圧

ホットプレスはプランジャー型（吐出量可変式，10 HP，総圧力 150 t）で熱板寸法 54×54×5.5 cm，加熱は電熱式（5.5 KW×2），コールド板には 6 mm 厚ジュラルミン板を使用した。

Fig. 1 に中位水準の場合の圧力スケジュールを示す。熱板が閉鎖してから最高圧力（ P_1 ）に達するまでの時間は 3 水準を通じて 16 ± 1 sec，初期圧縮から後期圧縮に移るのに要する時間は約 5 sec（これは後期圧縮時間 t_2 に含めた），後期圧縮から大気圧まで解圧する時間を約 30 sec に規制した。

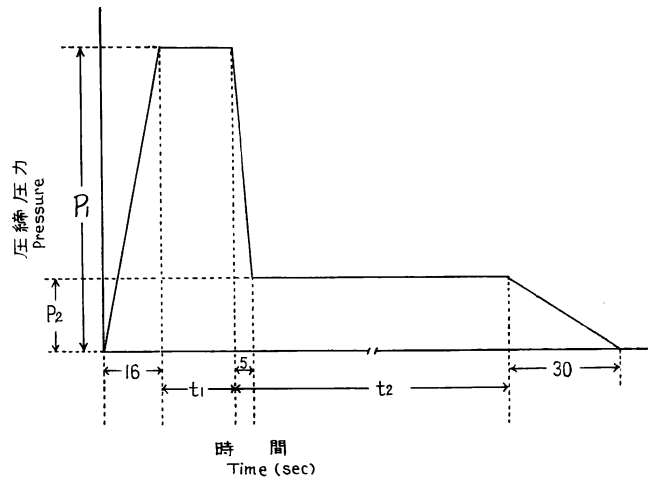


Fig. 1 圧力スケジュール

Pressure diagram.

Table 5. 実験番号別熱圧条件
Pressing conditions.

実験番号 Exp. No.	熱板温度 Plate temperature (°C)	初期圧力 Initial pressure (kg/cm ²)	初期圧縮時間 Initial pressing time (sec)	後期圧力 Final pressure (kg/cm ²)	マット含水率 Moisture content of mat (%)	後期圧縮時間 Final pressing time (min)
1	190	50	10	7	8	2
2	190	50	20	14	10	3
3	190	50	30	21	11	4
4	190	60	10	14	11	4
5	190	60	20	21	8	2
6	190	60	30	7	10	3
7	190	70	10	21	10	3
8	190	70	20	7	11	4
9	190	70	30	14	8	2
10	210	50	10	21	10	4
11	210	50	20	7	11	2
12	210	50	30	14	8	3
13	210	60	10	7	8	3
14	210	60	20	14	10	4
15	210	60	30	21	11	2
16	210	70	10	14	11	2
17	210	70	20	21	8	3
18	210	70	30	7	10	4
19	230	50	10	14	11	3
20	230	50	20	21	8	4
21	230	50	30	7	10	2
22	230	60	10	21	10	2
23	230	60	20	7	11	3
24	230	60	30	14	8	4
25	230	70	10	7	8	4
26	230	70	20	14	10	2
27	230	70	30	21	11	3

接着剤を添加してから熱圧を行なうまでの時間とファイバーの pH 値から考えると、接着不良を生ずるように思われるが、予備試験の結果、接着剤添加後直ちに熱圧したものと比較して曲げ強さに有意差が認められなかった。全実験 27 枚のボードについての熱圧条件を Table 5 に示す。これらのボードは熱板温度ごとにランダムな順序により熱圧を行なった。

7. 材 質 試 験

成板した 27 枚のボードは 20°C, 65% RH の室内に 1 週間以上放置した後、JIS A 5907 (1961) にしたがって気乾比重、含水率、曲げ強さおよび吸水率を測定し、同時に衝撃曲げ強さと吸水による厚さ膨張率も求めた。試験片の数はすべて 3 個とし、その算術平均値をもってボードの材質とした。比重、吸水率および膨張率は、曲げ試験を行なった試験片からとった同一の試験片を使用し、その大きさは 7×7 cm である。衝撃曲げ試験はシャルピー型 (15 kg·cm/cm²) 試験機を用い、試験片の大きさは 8×1.5 cm] である。

III 材質試験結果

Table 6 に材質試験結果を示す。No. 27 のボードは中央部に変色とふくれ (Blister) を生じたが、そ

Table 6. 実験番号別ボードの材質

Properties of boards.

実験番号 Exp. No.	比 重 Density	含 水 率 Moisture content (%)	曲 げ 強 さ Modulus of rupture (kg/cm ²)	衝撃曲げ強さ Impact bending strength (kg·cm/cm ²)	吸 水 率 Water absorption (%)	膨 張 率 Swelling (%)
1	0.78	7.2	111	5.1	134	68.1
2	0.95	7.3	245	7.7	93.2	60.3
3	1.07	7.1	423	9.7	52.6	36.1
4	1.03	7.2	384	8.1	61.2	40.1
5	0.98	7.5	302	9.6	79.8	52.2
6	1.02	7.4	356	9.8	63.9	41.4
7	1.02	7.5	374	9.0	64.9	44.1
8	0.99	7.4	338	7.9	63.7	37.9
9	1.05	7.6	383	8.9	66.5	48.1
10	0.94	7.2	289	8.4	70.9	37.6
11	1.00	7.2	373	8.0	59.4	34.3
12	0.98	7.1	307	8.4	65.1	41.3
13	0.85	7.4	221	7.2	82.4	40.7
14	1.04	7.1	423	9.3	57.4	33.0
15	1.09	7.0	484	9.2	44.1	27.7
16	1.05	7.2	427	9.5	54.0	34.2
17	1.07	7.0	449	8.8	51.5	34.3
18	1.09	6.9	535	9.9	43.1	26.8
19	1.00	6.9	432	9.1	53.5	28.1
20	1.01	6.8	384	8.9	54.5	30.7
21	1.08	6.9	515	8.9	43.7	25.0
22	1.01	7.1	393	9.3	54.9	29.4
23	1.00	6.8	441	8.3	49.2	23.6
24	1.08	6.8	508	8.6	41.5	24.3
25	0.95	7.3	351	7.7	64.3	29.7
26	1.13	6.7	567	9.0	40.2	24.5
27	1.12	6.5	598	8.7	41.0	24.2
平 均 Average	1.01	7.1	393	8.7	61.1	36.2

の部分を除いて試験片をとり材質試験を行なったが、そのほかには特に著しい変色やそりは観察されなかった。No. 1 のボードの比重は 0.78 で、ハードボードとはいえないものであり、また No. 27 のふくれ部分の比重は 1.15 におよぶものと思われるが、全ボードの比重の算術平均値は 1.01 となり、ハードボードとしては標準的数値を示すものと思われる。

IV 分散分析結果

材質試験の結果より比重、曲げ強さ、吸水率および衝撃曲げ強さの4個を特性値と定め、各因子の効果を求めるために分散分析を行なった。比重、曲げ強さ、吸水率では交互作用による変動が小さかったので、これらを誤差変動にまとめて e' の項に示した。寄与率は全変動に対する因子の純効果のパーセントで示されるので¹⁹⁾、効果が小さく負の値になるものは算出しなかった。また、 e'' は Total より寄与率の和を減じたもので残査に相当するものである。

1. 比 重

Table 7 の結果から、6因子中 t_2 を除くすべての因子がボードの気乾比重に影響を与えることがわかった。分散比は t_1 がとびぬけて大きく、ついで P_1 , u , P_2 , Q の順となり、 Q のみ 5%, その他は 1% 危険率で有意となった。寄与率の値もこの順に大きい。

Table 7. ボード比重に対する分散分析
Analysis of variance for density.

因子 Factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square	分散比 F	判定 ¹ Remarks	寄与率 ² ρ
Q	133	2	66.5	5.5	※	7.1
P_1	243	2	121.5	10.1	※ ※	14.2
t_1	504	2	252	21.0	※ ※	31.2
P_2	224	2	112	9.3	※ ※	13.0
t_2	26	2	13	1.1	N. S	0.1
u	239	2	119.5	10.0	※ ※	14.0
$Q \times P_1$	(75)	(4)				
$Q \times t_1$	(34)	(4)				
$P_1 \times t_1$	(30)	(4)				
e	(28)	(2)				
e'^3	167	14	11.9			
e''						20.4
Total	1,536	26				100

注 1. ※: 5% 危険率で有意 Significant at the 5 per cent significance level.

※※: 1% 危険率で有意 Significant at the 1 per cent significance level.

2. ρ : 寄与率 全変動に対する純効果の百分率

$$\rho_A = \frac{S_A - D.f.A \times V_e}{S_T} \times 100$$

S_A : 因子 A の変動 Variance of factor A.

$D.f.A$: 因子 A の自由度 Degree of freedom of factor A.

V_e : 誤差の自由度 Mean square of error (pooled errors).

S_T : 全変動 Total variances.

3. プールした誤差 Pooled errors.

実験の結果、 Q の効果が小さく t_1 の効果が大きく現われたことが特徴的である。ハードボード熱圧の目的は低密度、低強度のマットを高密度、高強度のボードに成型することであり、マットの圧縮による密化 (Densification) に最も直接的に作用する熱圧因子は加圧力 P_1 であり、この保持時間 t_1 の寄与率が特に大きくなったものと思われる。このようにマットの圧縮成型に圧力の影響が大きいことは、 P_2 の効果から後期圧縮の段階においても継続されていることが認められた。

2. 曲げ強さ

Table 8 に示した結果から、 Q , t_1 , P_1 , u の効果が危険率 1% で有意となり、寄与率の大きさもこの順となっている。後期圧縮の P_2 と t_2 はともに有意差が認められなかった。寄与率についてみると、 t_1 の値は P_1 や u のそののほば 1.5 倍になり、さらに Q の大きさは t_1 の 1.5 倍に近い値を示し、 Q の値が他に比べて非常に大きくなっている。

3. 吸水率

Table 9 に示した結果から、各因子がボードの吸水率に及ぼす影響は、 Q , t_1 , u が危険率 1% で有意となり、寄与率の大きさもこの順になった。 P_1 のみは危険率 5% で有意となった。曲げ強さの結果との比較を寄与率でみると、 t_1 と P_1 の値が小さくなった反面、誤差の変動が大きいので e'' が大きくなり、わずかながら Q と t_2 が増えている。因子効果の全体の傾向としては曲げ強さの結果によく似ており、両者の間に密接な相関関係が存在することがうかがえる。すなわち、乾式ハードボードの吸水率も湿式の場合と同様に、主としてファイバー間の接着強度に起因し、さらにセルロース物質一般にみられるように、ファイバー自身がうけた加熱による熱処理効果に大きく影響をうけることが認められた。

4. 衝撃曲げ強さ

Table 10 に示した結果から、 t_1 , P_2 , u および交互作用 $Q \times P_1$ の効果にそれぞれ危険率 5% で有意差が認められ、これらの寄与率の大きさはいずれも 13% 前後となった。また $Q \times t_1$ の存在することも認められた。実験結果に Q の主効果が全く認められなかったことは、ハードボードにみられる加熱によ

Table 8. 曲げ強さに対する分散分析
Analysis of variance for modulus of rupture.

因子 Factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean square	分散比 F	判定 Remarks	寄与率 ρ
Q	90,176	2	45,088	22.3	※ ※	28.4
P_1	49,512	2	24,756	12.3	※ ※	15.0
t_1	70,604	2	35,302	17.5	※ ※	21.9
P_2	14,691	2	7,345	3.6	N. S	3.5
t_2	2,547	2	1,273	0.6	N. S	
u	47,645	2	23,822	11.8	※ ※	14.4
$Q \times P_1$	(10,145)	(4)				
$Q \times t_1$	(8,586)	(4)				
$P_1 \times t_1$	(720)	(4)				
e	(8,802)	(2)				
e'	28,283	14	2,020			
e''						16.8
Total	303,458	26				100

Table 9. 吸水率に対する分散分析
Analysis of variance for water absorption.

因子 Factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degree of freedom	平均平方 Mean squares	分散比 F	判定 Remarks	寄与率 ρ
Q	3,219	2	1,609	14.1	※ ※	30.1
P ₁	1,087	2	543	4.8	※	8.7
t ₁	1,722	2	861	7.6	※ ※	15.1
P ₂	481	2	240	2.1	N. S	2.6
t ₂	293	2	146	1.3	N. S	0.7
u	1,522	2	761	6.7		13.0
Q×P ₁	(75)	(4)				
Q×t ₁	(34)	(4)				
P ₁ ×t ₁	(30)	(4)				
e	(28)	(2)				
e'	1,594	14	114			29.8
e''						
Total	9,918	26				100

Table 10. 衝撃曲げ強さに対する分散分析
Analysis of variance for impact bending strength.

因子 Factors	平方和 Sum of squares	自由度 Degrees of freedom	平均平方 Mean square	分散比 F	判定 Remarks	寄与率 ρ
Q	(70)	(2)	—	—	—	—
P ₁	198	2	99	2.9	N. S	5.1
t ₁	412	2	206	6.1	※	13.5
P ₂	418	2	209	6.2	※	13.7
t ₁	(14)	(2)	—	—	—	—
u	375	2	187	5.6	※	12.0
Q×P ₁	486	4	122	3.6	※	13.4
Q×t ₁	340	4	85	2.5	N. S	8.0
P ₁ ×t ₁	(142)	(4)				
e	(108)	(2)				
e'	334	10	33.4			34.3
e''						
Total	2,563	26				100

る、もろくなる事実から理解しがたく、P₁の主効果も非常に小さいにもかかわらず、Q×P₁の効果となって認められたことは興味深い。各因子が衝撃曲げ強さに与える影響は上述の3特性値の結果と比較して、誤差変動が大きいので、因子効果がやや不明りょうで交互作用がみられる点が特徴といえよう。

V 考 察

4個の分散分析結果から、有意差の判定と寄与率を一括するとTable 11のとおりである。各熱圧因子がボードの材質に及ぼす影響を、総括的に考察することとする。

Table 11 から知られるように、各因子の効果が特性値の間でかなり異なって現われている。たとえば、 Q は曲げ強さと吸水率には寄与率が高いが、比重と衝撃曲げ強さには小さく、また P_2 は比重と衝撃曲げ強さに有意差が認められたが、曲げ強さと吸水率に有意差が認められなかった。

因子 t_1 は第1に P_1 の反応時間であり、同時に Q の反応時間でもある。したがって、 P_1 および Q は t_1 の関数のような性格をもつため、両者の効果は常に t_1 の影響をうけているものと解し得よう。換言すれば、 t_1 の効果のなかには P_1 によるものと、 Q によるものを含む場合があるのではないかと考えられる。特に交互作用でみると、4個の分散分析結果を通じて $Q \times t_1$ と $P_1 \times t_1$ の変動が $Q \times P_1$ の変動に比して常に小さく現われていることから、 $Q \times t_1$ は Q の主効果に、 $P_1 \times t_1$ は P_1 の主効果に操り入れて考慮することが可能のように思われる。

t_1 の効果の内容および t_1 を含む交互作用についての上述の仮定が成立するものとみなすと、Table 11 の結果は P_2 を除きかなり整ってくる。

また比重と曲げ強さに対する Q のそれぞれの効果が異なって現われたことから、高比重になるにしたがって促進されるファイバー間の接触面積の増加と並行して、 Q による接着力の質的变化（単位接触面積あたりの接着力の増加）が生ずることも考えられる。

しかしながら、これらの分散分析に現われた特異性は、純粋に特異性としてうけとるべきものとも思われるので、今後検討すべき問題点であろう。

分散分析の結果から、各因子がボードの熱圧成型機構にはたす役割は次のようにいえるであろう。

Q: 木材繊維の加熱圧縮に関する理論から、ファイバーマットに変形の増大とその塑性化を与え、また接着剤の流動と硬化の促進、さらにファイバーの化学成分の変化のエネルギー源として作用し、ボードの強度生成に重要な因子として働いているものと思われる。これは曲げ強さと吸水率に寄与率が大きく現われたこと、および半乾式熱圧の際の接着剤を含まないボード材質が、熱板温度の影響を大きくうけてい

Table 11. ボード材質に対する分散分析結果の一括表
Summarized result of four analyses of variance on properties of board.

因子 Factors	ボード比重 Density		曲げ強さ Modulus of rapture		吸水率 Water absorption		衝撃曲げ強さ Impact bending strength	
	有意差判定 Significant remark	寄与率 ρ	有意差判定 Significant remark	寄与率 ρ	有意差判定 Significant remark	寄与率 ρ	有意差判定 Significant remark	寄与率 ρ
Q	※	7.1	※ ※	28.4	※ ※	30.1	N. S	—
P_1	※ ※	14.2	※ ※	15.0	※	8.7	N. S	5.1
t_1	※ ※	31.2	※ ※	21.9	※ ※	15.1	※	13.5
P_2	※ ※	13.0	N. S	3.5	N. S	2.6	※	13.7
t_2	N. S	0.1	N. S	—	N. S	0.7	N. S	—
u	※ ※	14.0	※ ※	14.4	※ ※	13.0	※	12.0
$Q \times P_1$							※	13.4
$Q \times t_1$							N. S	8.0
$P_1 \times t_1$								
e''		20.4		16.8		29.8		34.3
Total		100		100		100		100

ること¹⁾からも理解されよう。

P_1 : マットのち密化のための圧縮力として第1に作用し、ついでファイバー相互の接触面積を増加させファイバー間の接着の起因となる。また、ち密化にともなうマット中の空気を排出し、同時に熱板からの距離が短縮されるので内部温度の上昇をはやめる¹⁸⁾。

t_1 : P_1 と Q の反応時間であるので両者の効果を相乗的に促進させる。 t_1 の間にファイバー間の接着が進行するもので、それが t_2 の間で終了するものとみなしても、その強度は t_1 に支配的に影響をうけるものと考察される。本実験では t_1 の水準差を 10 sec と大きく定めたため寄与率が大きくなっているが、他の因子の設定方法によっては 2 sec 程度でも効果が現われることが十分考えられるので、乾式ハードボードの熱圧工程における t_1 の正確な制御は、重要といわなければならない。

P_2 : さきにものべたように、この因子の効果は特性値によって認められたものと、認められなかったものとがあり、本実験中最も特異な結果が示された。すなわち、後期圧縮においてマットの圧縮がつづけられても、ボードの強度には影響を与えないという結果は、変形の終了後に、接着が完成することを必要とする一般論からは説明できない。 P_2 の役割としては、マットの変形、塑性化およびファイバー間の接着の完成、またその値が Q に相当する水蒸気圧以下の場合にはマット中の水蒸気の蒸発が行なわれるといわれている⁴⁾¹⁰⁾。この実験に用いた Q と P_2 の組合せでは、後期圧縮中にマットの乾燥が生じたものと、生じなかったものとが相半ばしたため、後期圧縮の厳密な比較が困難となった。したがって、 P_2 の効果の検討にあたっては、 Q との関連のもとに P_2 の大きさを定める必要があろう。

t_2 : ファイバー間の接触を保持して接着を完成せしめるために必要な時間で、RAUSENDORF もその重要性を論じている。しかし、この実験の範囲内では t_2 の効果は全く認められず、比較的重要性が小さいといわれている湿式の後期圧縮の場合⁹⁾ と類似しているといえる。乾式ハードボードの熱圧成型は、上の結果を考慮すると、初期圧縮につづく後期圧縮のきわめて初期段階(2分以内)において、達成されるものと推察される。

u : この因子の効果のみが 4 特性値を通じて最も定常的に現われ、一般にいわれるマット中の水分は、接着剤の役割をはたすことを示している。高村の論ずるごとく一水分はファイバーマットの被圧縮性(Compressibility)の増大および可塑性として、同時に熱伝導の媒体として作用し¹⁸⁾—ファイバー間の接着のために重要な因子となっていることは、普通の乾式熱圧についてもいえるであろう。

水分を多く含むマットを熱圧すると、ボード表面に変色が現われやすいといわれており、乾式ファイバーによる湿式熱圧に比して、半乾式熱圧により得られたボードの方が材質がよいこと¹¹⁾、さらに乾式では、ファイバーの水溶性物質含有量が 6~30% の範囲では、ボード材質がほぼ比例的に向上していること¹³⁾などから、水分は熱圧の際にファイバー中の水溶性物質に直接的に作用するものと思われる。

全体的にみて、熱圧因子がボードの材質に及ぼす影響は、 Q , P_1 , t_1 および u がそれぞれ重要な役割をはたしていることが明らかとなった。後期圧縮の P_2 の影響のみに特異性が現われたが、この重要性については、これだけでは結論を下せない。 t_2 の影響はほとんどみられず、したがって本実験の結果、高温、高圧下の短時間熱圧により成板される乾式ハードボードの特徴を、よく表現しているといえよう。

比重、曲げ強さおよび吸水率に対する Q , P_1 , t_1 および u の水準変化による効果グラフをそれぞれ Fig. 2, Fig. 3, Fig. 4 および Fig. 5 に示す。衝撃曲げ強さについては Fig. 6 と Fig. 7 に示した。図中矢印は 95% 信頼区間を示す。

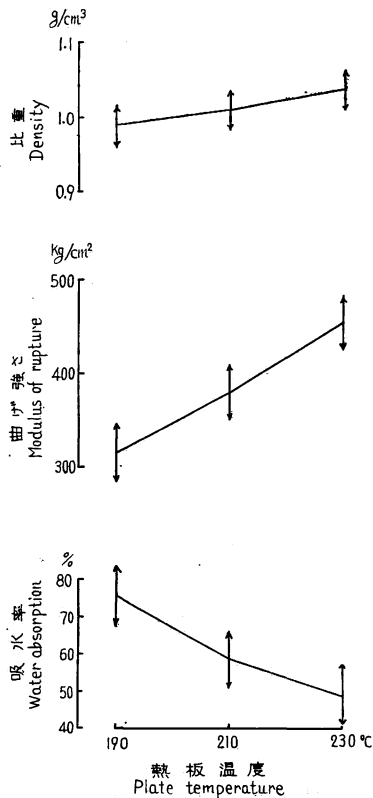


Fig. 2 熱板温度の効果
Effect of temperature on properties of board.

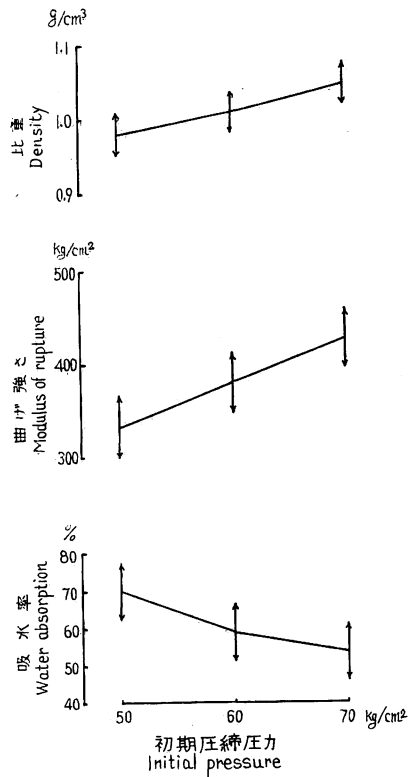


Fig. 3 初期加圧力の効果
Effect of initial pressure on properties of board.

これらの図から Q , P_1 , t_1 は水準が高位になるにしたがってボードの材質が向上しており、効果グラフはほぼ直線とみなし得よう。 u の比重と曲げ強さへの効果グラフは、第 3 水準の効果がやや小さく曲線のようにあり、同じく衝撃曲げ強さでは曲線に最大値が存在することが認められた。乾式熱圧における u は、湿式の場合の息抜き時間に相当するものと考えられ、湿式の結果では一般にボード材質との関係が曲線で示されており（しばしば極値を含む曲線）、本実験の結果と傾向を等しくするものと思われる。

湿式では熱圧条件と材質の関係がしばしば曲線で示されており、たとえば新納らのテンパー後の分散分析結果からの効果グラフのうち、ニレパルプの場合の $Q^{(9)}$ 、シラカバパルプの場合の $P_1^{(17)}$ など、また高村の $Q^{(18)}$ にもみられる。実験結果が直線で示されるか、曲線で示されるかは前にのべたとおり、すべて実験条件（因子水準のとり方、原料の性質等）により左右されることなので、断定的にはいえないがこの実験の結果からあえて推察を試みると、熱圧因子 Q , P_1 , t_1 のボード材質への効果は湿式に比して乾式の方が直線性が大きいように思われる。

この実験では、接着剤添加量を固定したため、熱圧因子としてその効果について論及することは許されないが、熱圧時に Q , P , t によって、接着剤の流動および硬化の反応が定常的に進行する要素が大きいものと推察される。

一方、乾式ハードボードの熱圧成型は、はじめに論じたプラスチック成型と変態形態は類似している

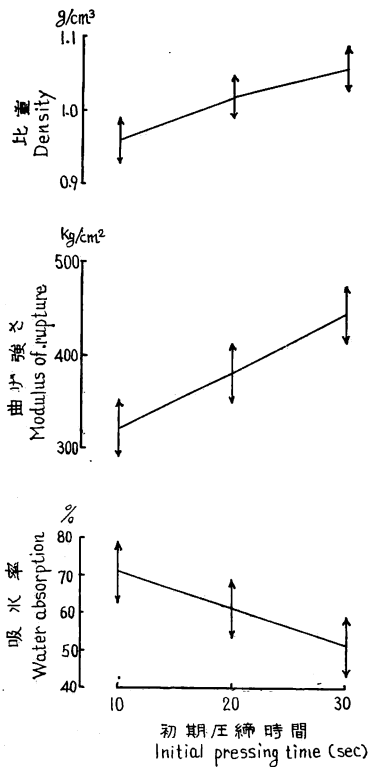


Fig. 4 初期圧締時間の効果
Effect of initial pressing time on properties of board.

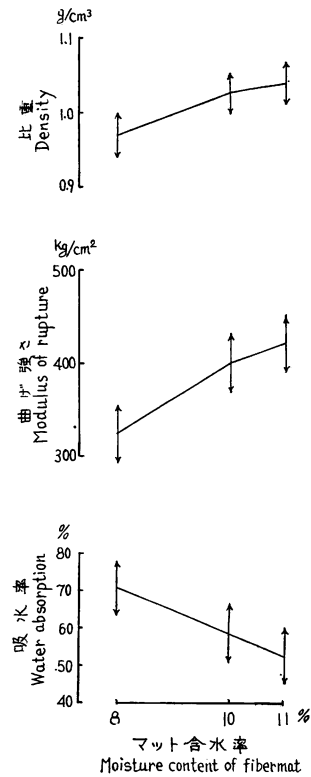


Fig. 5 ファイバーマット含水率の効果
Effect of moisture content of fiber-mat on properties of board.

が、接着剤のみによって成立するものではない点で本質的に異なるものであると考えられる。たとえば、一蒸煮中におこる、木材の加水分解により始まる一連の化学反応によって生成する接着性物質に、圧力が加えられて強固なボードがつくられる¹⁷⁾—という考察もされている。実際に、樹種や蒸煮条件により比重 1.10、曲げ強さ 350 kg/cm^2 程度のボードが成板可能なこと¹²⁾、前述したファイバー中の水溶性物質含有量とボード材質の間に密接な関係があること、すでに湿式について明らかにされているように¹⁴⁾¹⁵⁾、乾式熱圧についても、湿式により得られた原料ファイバーに対する脱リグニンおよび脱ヘミセルロース処理が、ボード材質に影響を与えること⁸⁾等が実験されている。試みに行なった接着剤を含まないセルロー

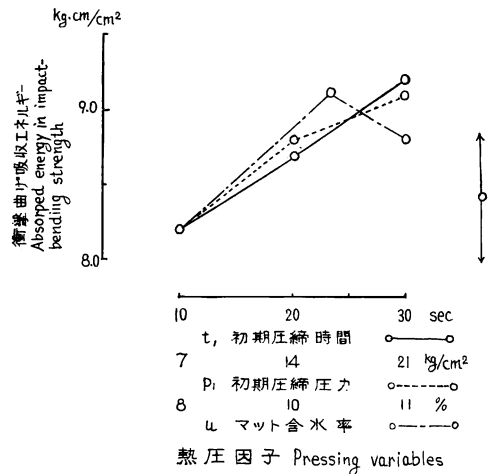


Fig. 6 衝撃曲げ強さに対する熱圧因子の効果
Effect of pressing variables on impact bending strength.

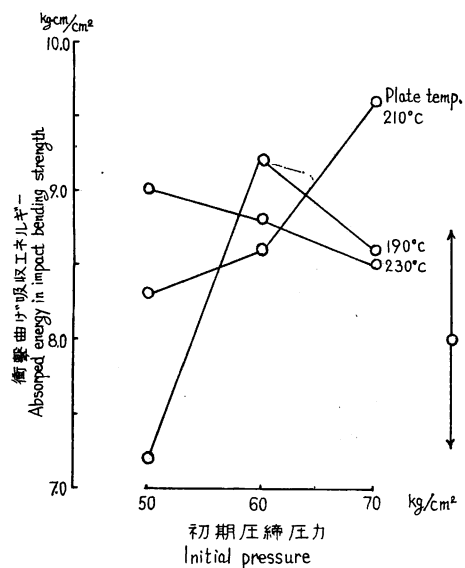


Fig. 7 衝撃曲げ強さにみられた温度と圧力の交互作用

Effect of interaction between pressure and temperature on impact bending strength.

ス単体マットの熱圧(250°C, 100 kg/cm², 30sec, $u=10\%$, ボード厚さ 1.5 mm) では、通常のハードボードに成板することができなかった。

乾式ハードボードの熱圧成型の原理は、形態としては不連続体から連続体への変換がなされる物理的变化であるが、変化過程の内容としては上述したように、湿式熱圧にみられるものと共通の要素をもち、一般化学変化と同様に外界からうける熱、圧力、反応時間の影響を大きくうけることから、圧縮変形、および接着剤の安定した作用をともらった、木材繊維の化学変化とみることができよう。この関例を模式的に示すと Fig. 8 のようになるであろう。さきに示した効果グラフの結果から、乾式ハードボードの成板にあたって、熱圧因子の水準を高位に定めれば、ボードの強度を向上させることが概して容易というが、ファイバー間の接着が促進されると同時に成分の化学反応も進行し、そのためボードの外観を汚染する

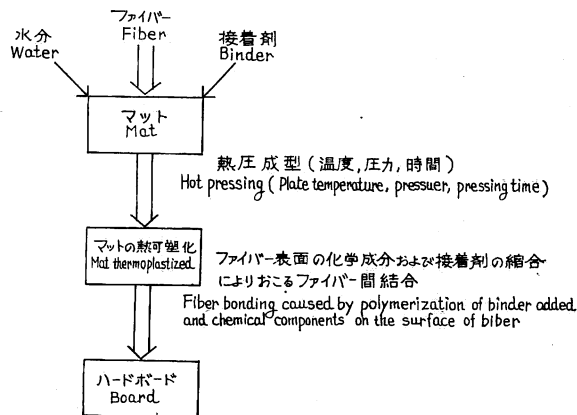


Fig. 8 乾式ハードボードの熱圧機構に関する模式図
Hypothetic schema on the mechanism of hotpressing in the manufacture of dry-formed hardboards.

ことがあるので、実際の熱圧操作の管理は、両反応のかねあいにおいて決定されなければならない。

VI 要 約

乾式ハードボードの熱圧成型の機構を究明するための基礎実験として、ブナのアスプルンド粗ファイバーを原料として、単層構成、2段圧締法について、熱圧3大因子(熱板温度、圧締圧力、圧締時間)とマット含水率が、製品ボードの材質にいかなる影響を与えるか直交表 $L_{27}(3^3)$ にしたがって実験を行ない

次のような結果および考察が得られた。

1) 初期圧縮における温度、圧力、時間の影響は予想どおり大きく、1, 2 の例外を除きこれらの効果は高度に有意であった。後期圧縮では実験の範囲内では、時間の影響は全くみられず、圧力については今後の検討にまたねばならない。マット含水率は常に安定した効果をみせ、接着剤的役割を演ずることを示した。主として、熱板温度はファイバー間の接着に、初期圧力はマットの圧縮と密化に特に大きく作用すること、また熱圧時間は本来の反応持続時間の効果のほかに、反応主体(圧力、温度)の効果もあわせて含むことの可能性も推察された。

2) 実験の範囲内では、マット含水率の効果の1部を除き、温度、圧力、時間のいずれも上位水準になるにしたがってボード材質は向上し、この関係は湿式の場合に比較して直線性が大きいように思われた。

3) 熱圧因子とボード材質の関係が直線的に表現されるものとみなしても、ファイバーマットからハードボードへの熱圧成型が行なわれる過程での、温度、圧力、時間および水分の各因子がはたす役割は、湿式の場合と本質的な相違はないようである。

4) 乾式ハードボードの熱圧成型の定義を試みると、次のようにいえるであろう。

適度の水分をもつファイバーマットを、高温、高圧をもって圧縮変形し、同時にマットの内部温度を高めて水と熱の相乗作用により、マットの変形およびその塑性化

接着剤の流動と硬化、さらに

ファイバー表面成分の化学変化をともなった繊維間接着

の促進をはかり、ついで低圧を保持して一必要によりマットを乾燥させつつこれら諸変化を達成させる。

文 献

- 1) FRASHOUR, R.G., W.H. COOKE and C.R. MORSCHAUER: Properties of dry-formed hardboards with various resin contents. Report No. L-5, Oregon forest products laboratory (1955).
- 2) 茅野・磯部: 工場実験の進め方, 日刊工業新聞社, (1958).
- 3) 北原・丸山: ファイバーボード・パーティクルボード, 森北出版, (1962).
- 4) 越沢: ハードボード工業の現況と技術的進歩, 紙・技協誌, 18, 3, 4 (1964).
- 5) 松田・佐野: 未発表.
- 6) 新納・西川・前田・高橋: ニレパルプを原料としたハードボード製造条件の検討, 林指月報, 117, (1961).
- 7) 新納・前田・西川・佐野: シラカバパルプを原料としたハードボード製造条件の検討, 林指月報, 110, (1961).
- 8) 大屋: 第13回木材学会大会要旨, (1963).
- 9) RAUCH, A.H.: Plywood research foundation hardboard process. Tacoma 4. Washington, (1956).
- 10) RAUSENDORFN, D.: Technologie des Trockenverfahrens zur Herstellung von Farserhartplatten und seine Entwicklung in Japan. Holz als Roh- und Werkstoff, 21, 6, pp. 209~217, (1963).
- 11) SANDERMANN, W., KUNNEMEYER, O.: Stand der neuen Verfahren zur Herstellung von Faserplatten nach dem Trocken- und Halbtrocken Prozeß und Versuche Über die wasserlöslichen Anteile. Das Papier, 10, 13/14 (1956).

- 12) 佐野・松田: 第 14 回木材学会大会要旨, (1964).
- 13) ŠISLER, Z., KÉDA, M.: Chemické zmeny drevnej hmoty pri výrobe drevovláknitých dosák suchým postupom. DREVĀRSKY VÝSKUM, 2, (1962).
- 14) 鈴木・米沢: ファイバーボード原料の物理化学的性質に関する研究 III 報, 林試研報, 138, (1962).
- 15) 鈴木・米沢: 同 IV 報, 林試研報, 162, (1964).
- 16) 鈴木・池田・高橋・森山: 乾式ハードボード熱圧成型時におけるファイバーマットの変形について, 林産指月報, 149, (1964).
- 17) SWIDERSKI, J.: Vergleich der Verfahren zur Herstellung von Hartplatten naß-, Halbtrocken- und Trockenverfahren. Holz als Roh- und Werkstoff, 21, 6, (1963).
- 18) 高村: ファイバーボードの熱圧乾固に関する研究 (第 1 報), 林試研報, 144, (1962).
- 19) 田口: 新版実験計画法上, 丸善, (1962).
- 20) U.S. Patent No. 2571986 (1951).
- 21) VALRAMOV, M.I.: Vnediyat cukhoi ppcob ploizvodctva tveldykh dlievecno-voronictykh prit. Delvo, 1, (1964).
- 22) 渡辺: 乾式ハードボード 木材工業, 16, 10, 12 (1961).
- 23) WATTS, E.W.: Industrial experience in the manufacture of smooth-two-side hardboard FAO/ECE/BOARD CONS/PAPER (1958).

Studies on the Dry Process Hardboard (1)

Influence of hot pressing variables upon properties of board.

Toshiyo MATSUDA and Yasaburo SANO

(Résumé)

Already about thirteen years have passed since the first products of dry process hardboard appeared in U. S. A., but not many technical studies concerning this process have been reported up to the present. In this study the authors the undertook this investigation to get the fundamental information on curing mechanism at the hot pressing stage of dry process hardboard.

Experiments were conducted by applying the orthogonal table $L_{27} (3^3)$ and factors with levels and symbols as shown in Table 2. Beech (*Fagus crenata* BLUME) chips were defibrated by Asplund defibrator (type C, 100 HP, plate No. 611SD) after steaming (2.5 min. at 9kg/cm²); then coarse unrefined, non-screened fibers were directly dried up to about ten per cent of the moisture content. Properties of fiber, thus obtained, are shown in Table 4 and its photographs in Plate 1. Two per cent of phenolic resin were added to the bone-dry fiber in weight, but wax was not used. Moisture content of three fiber mats was separately controlled by being left in the constant humidity rooms, 45 per cent R.H., 65 per cent R.H., and 75 per cent R.H. at 20°C temperature for 24 hours. Fibers were felted to homogeneous mat using the felter, 35×35 cm, shown in Photo. 1 and hot pressed according to the diagram shown in Fig. 1. Board of experiment No. 27 was blistered at the center, so test specimens were prepared from sound area of the board. Properties of finished boards are given in Table 6. Results of analysis of variance on properties of board appear in Table 7~Table 11 and effects of significant factors in Fig. 2~Fig. 7.

The summarized results and discussions are as follows:

1) Effects of the three main factors, temperature, pressure and time on the properties of the board are highly significant at the initial stage of hot pressing.

2) At the final stage of pressing, there was a difference in the effect of pressure between modulus of rupture or water absorption and density or impact bending strength; therefore, the conclusion about effect of pressure could not be settled from this experiment only. Effect of pressing time at final stage was not significant, so the authors assumed that, in the hot pressing, the fiber mat hardens to the hardboard during the very short period following initial stage of pressing.

3) Effect of moisture was constantly significant and this means that moisture in fiber mat plays a role as bonding agent with some of chemical components.

4) From result of analysis of variance upon the action of each factor, the authors recognized that temperature contributed mainly to fiber bonding, pressure to densification of fiber mat, and pressing time effected primarily as duration of reaction and secondarily of both pressure and temperature.

5) From graphic showing of effects of factors on relationship between pressing factors and properties of board, the authors presumed that in the dry process there is much more linear correlation than in the wet process.

6) It can be said that as regards the principle in the hot pressing of dry process hardboard, much depends on the complicated reaction of wood chemical components e.g. hemicellulose, lignin, water soluble matter, and on ordinal reaction of binder. This point is the fundamental difference between the dry process hardboard and plastic moldings or general particleboard which are produced mainly by reaction of binder.

7) From results obtained, the authors are able to define the hot pressing of dry process hardboard as follows:

By applying high temperature and pressure on the fiber mat which has adequate moisture, it becomes deformed and heated and the factors of both temperature and moisture cause three changes as follows:

- i) compressive deformation and plastization of fiber mat
- ii) flow and cure of the binder
- iii) fiber bonding caused by the chemical components on the surface of fiber.

The formation of fiber bonding is finished during the duration of low pressure, and evaporation of the residual vapor takes place under certain circumstances.

1) Effects of the three main factors, temperature, pressure and time on the properties of the board are highly significant at the initial stage of hot pressing.

2) At the final stage of pressing, there was a difference in the effect of pressure between modulus of rupture or water absorption and density or impact bending strength; therefore, the conclusion about effect of pressure could not be settled from this experiment only. Effect of pressing time at final stage was not significant, so the authors assumed that, in the hot pressing, the fiber mat hardens to the hardboard during the very short period following initial stage of pressing.

3) Effect of moisture was constantly significant and this means that moisture in fiber mat plays a role as bonding agent with some of chemical components.

4) From result of analysis of variance upon the action of each factor, the authors recognized that temperature contributed mainly to fiber bonding, pressure to densification of fiber mat, and pressing time effected primarily as duration of reaction and secondarily of both pressure and temperature.

5) From graphic showing of effects of factors on relationship between pressing factors and properties of board, the authors presumed that in the dry process there is much more linear correlation than in the wet process.

6) It can be said that as regards the principle in the hot pressing of dry process hardboard, much depends on the complicated reaction of wood chemical components e.g. hemicellulose, lignin, water soluble matter, and on ordinal reaction of binder. This point is the fundamental difference between the dry process hardboard and plastic moldings or general particleboard which are produced mainly by reaction of binder.

7) From results obtained, the authors are able to define the hot pressing of dry process hardboard as follows:

By applying high temperature and pressure on the fiber mat which has adequate moisture, it becomes deformed and heated and the factors of both temperature and moisture cause three changes as follows:

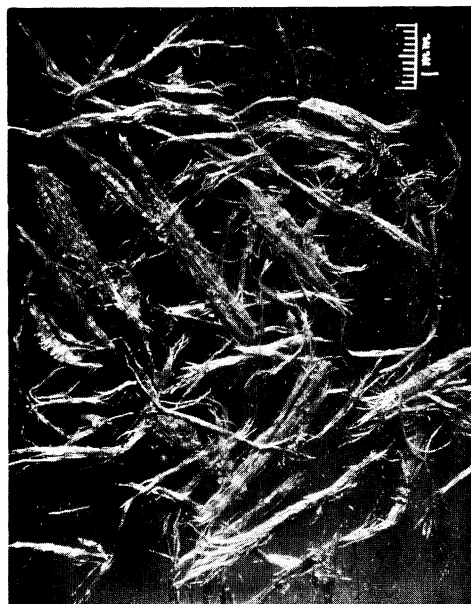
- i) compressive deformation and plastization of fiber mat
- ii) flow and cure of the binder
- iii) fiber bonding caused by the chemical components on the surface of fiber.

The formation of fiber bonding is finished during the duration of low pressure, and evaporation of the residual vapor takes place under certain circumstances.

— Plate 1 —



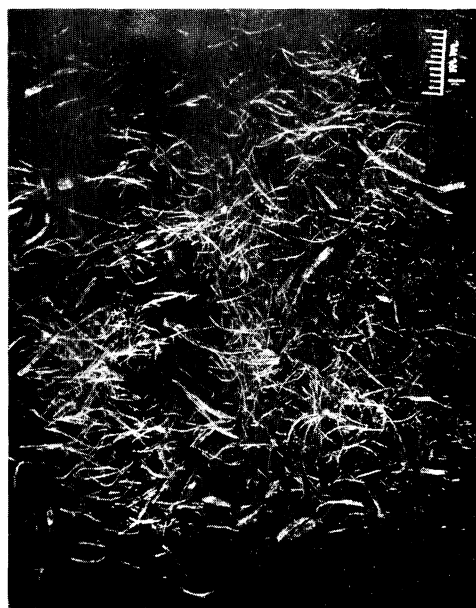
14 mesh on



14~50 mesh



50~100 mesh



100 mesh through

Photograph of Asplund defibrator coarse fiber.

供試ファイバーのフラクション別拡大写真