

竹を原料とするファイバーボードの製造（第1報）

モウソウチクを原料とした高温蒸煮、 常圧解繊による製造法について

佐 野 弥 三 郎⁽¹⁾

石 原 重 春⁽²⁾

長 澤 定 男⁽³⁾

1. ま え が き

終戦後、木材の利用合理化という立場から積極的に取り上げられ、育成されてきたわが国のファイバーボード工業も、昭和 30 年を過ぎていよいよ本格的な発展をはじめ、年産能力 1 万トンを超える工場も数工場稼動して、今後も工場の増加が予想される。これらの工場が使用する原料は、設立当初の計画では大幅に廃材を利用することになつていても、量的にまた質的に問題が生じ、勢い丸太原木を使用する例も各工場に見受けられ、工場規模の増大とともに、その傾向も大きくなるように思われる。

このような点を考えた場合、ファイバーボード工場の原料として木材以外の原料を使用することができるならば、木材資源確保のためにも大きな役割りを果たと考えられる。

日本の竹林面積は控え目に見ても約 12 万町歩もあり、竹材の年間産出量は約 1,000 万束、乾物重量で約 20 万トンにのぼり¹⁾、現在ケミカルパルプ用として一部使用されているが、今後の経営合理化により現在の 2 倍程度の増収²⁾ も容易に期待できるので、これをファイバーボード用原料としてとり上げることは十分意義のあることである。

また竹材は東洋特産であるため、欧米諸国にこれを原料としたファイバーボード製造の既往の試験研究も見当らず、東南アジア地域におけるこの点の要望も高いので、本研究の意義は単に国内にとどまらないであろう。

2. 供 試 材 料

供試材料は伐期の関係もあつたが、比較的用途の少ないという点も考慮にいれて、モウソウチク（学名 *Phyllostachys pubescens* MAZEL, 熊本県八代営林署管内産、4 年生）を用いた。

根部直径おおむね 120~130 mm, 末口直径 30~40 mm のもので、肉厚は 3~12 mm, 比重は絶乾比重で 0.7 前後のものである。

その化学的組成については、まず竹桿を縦割りし、節部の横隔壁を取り除き、小片に切断した後粉砕器で細粉化し、得られた竹粉を篩にかけ、60~80 メツシュの部分を試料として分析を行い、その結果は

(1)(2)(3) 林産化学部パルプ繊維板科繊維板研究室員

Table 1. モウソウチクの化学的組成 (%)
Chemical composition of Bamboo (MOSŌCHIKU)

Species	Component	Ash	Lignin	Pentosans	Cellulose
MOSŌCHIKU (<i>Phyllostachys pubescens</i>)		1.04	25.1	25.8	47.0
Comparison data {	MADAKE (<i>Phyllostachys reticulata</i>)	1.2~1.8	18.8~23.8	23.1~23.9	54.5~55.0
	Red pine (<i>Pinus densiflora</i>)	0.1~0.4	24.9~31.6	9.9~12.9	48.6~58.3
	Beech (<i>Fagus crenata</i>)	0.2~1.0	18.3~24.2	21.3~20.2	51.9~61.2

Table 1 のとおりである。なお、分析法は常法の木材分析法によつたが、比較のため、針葉樹ならびに広葉樹の代表的なものの値³⁾を併記した。

Table 1 に示すように、竹材はセルロース、リグニン含有量は木材とほとんど変わらず、灰分が若干多いが、特に針葉樹に比べ、ペントーザンの多いことが特質といえる。

原料のチップ化は、原竹をまずナタで巾約 15 mm にたて割りし、節部の横隔壁を取り除き、ついでギロチン式カッターで長さ 25 mm 程度に切断しチップ化した。

3. チップ浸漬処理ならびに蒸煮試験 (1)

3-1 予備浸漬ならびに蒸煮条件

チップよりファイバーボード用のパルプをうるためにはつぎのような方法が一応考えられるが、

- (i) 蒸煮釜中で水または薬液で蒸煮し、大気圧下で解繊する方法。
- (ii) 蒸煮釜中で蒸気直接吹込みにより蒸煮し、大気圧下で解繊する方法。
- (v) 蒸煮解繊を高温高圧下で行う方法。

今回は予備試験の結果から (ii) の方法を採用し、そのために内容積 65 l ステンレス鋼板内張りの回転丸釜 (回転約 9 回/分) を使用した。

なお蒸煮のための前処理として、チップをつぎのごとく浸漬処理し、蒸煮時間の変化によるパルプ歩止りならびにボードの材質に対する影響を試験した。

- (i) チップに水を十分浸透させる方法。
- (ii) チップに炭酸曹達の 2% 溶液を浸透させる方法。
- (v) チップに硫酸の 2% 溶液を浸透させる方法。

浸漬処理方法としては、チップを密閉容器中で 20 mm Hg 程度に 10 分間減圧し、そのままの状態を液を入れ、引き続き 10 分間同圧に保つたのち常圧にもどし、2 時間放置した。この際の液吸収量はチップの含水率によりもちろん変化するが、本試験に用いた湿量基準含水率 13% のチップは絶乾チップ 1 kg 当たり平均 500 g であった。

なお、青竹の場合は 40~50% の水分を含有しているため全然予備浸漬は行わずに試験した。

以上の浸漬処理を行つたチップは、余分な液を除去し、前記回転丸釜に仕込んで蒸煮を行つた。

蒸煮条件は予備試験の結果より、温度は 173~175°C の一定とし、時間は (i)(ii) の前処理のものは、15 分、30 分、45 分の 3 とおりについて行い、(v) の硫酸溶液浸漬のチップは、5 分、15 分、30 分の 3 とおりについて試験を行つた。なお、この時間とは、最高温度に達してから時間で、最高温度に達するのに

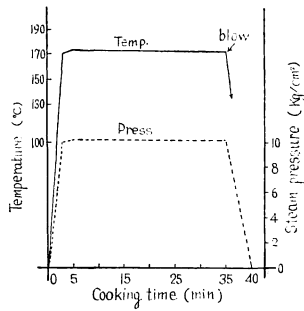


Fig. 1 蒸煮ダイアグラム (30分蒸煮)
Cooking diagram of Bamboo chips

Table 2. 廃液 pH ならびにパルプ収率およびフリーネス
pH of water liguor and pulp yield, pulp freeness on
the impregnation cooking of Bamboo

Impregnation chemicals	Cooking conditions	Liquor pH	Pulp	
			Yield (%)	Freeness* (cc)
	Temp., time (°C) (min.)			
Water	173, 15	4.1	78.5	774
	" 30	3.7	71.2	720
	" 45	3.6	65.0	729
2%Na ₂ CO ₃	173, 15	4.7	76.6	786
	" 30	4.1	74.2	717
	" 45	3.9	67.5	725
2%H ₂ SO ₄	173, 5	2.2	65.9	691
	" 15	2.1	60.9	708
	" 30	2.1	56.2	696

*Canadian standard

約5分を要した。温度は釜壁から約10cm内方位置で、
金属保護管を介して測定した。

蒸煮ダイアグラムの1例を示せば Fig. 1 のとおりで
あり、各条件の廃液の pH は Table 2 のごとくであつ
た。

3-2 チツプ解繊ならびにパルプの性質

以上のような蒸煮を行ったチツプは、釜から取り出し
たのちも原型を保っており、これを解繊するのに、ディ
スクの径 12 in の Sprout Waldron 研究室型ディス
クリフアイナー (片面ディスク回転型) で Phot. 1 のデ
ィスクを用い、つぎの条件により2段階解繊を行った。

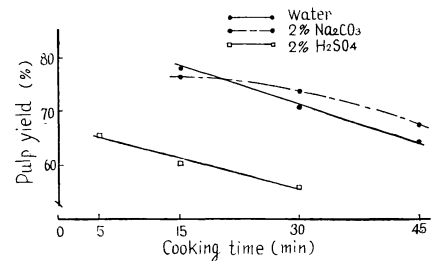
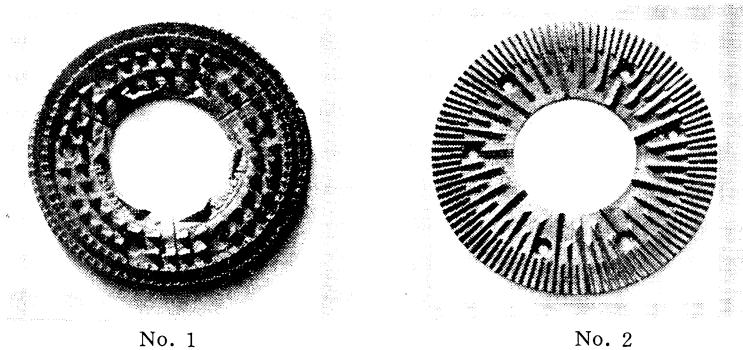


Fig. 2
予備浸漬処理別、蒸煮時間別パルプ収率
Results of impregnation chemicals and
cooking time on the pulp yields of
Bamboo fiberboard

	ディスク歯	ディスク間隙	濃度	送り速度
1 段階解繊:	No. 1	0.8 mm	4%	100 g/分
2 段階解繊:	No. 2	0.3	4	"



No. 1

No. 2

Phot. 1 Refiner disc

なお、この解繊条件は、前処理ならびに蒸煮条件別に、それぞれ最適の条件があるはずであるが、処理
条件をそろえるため、全試験を同一条件で行った。このためパルプのフリーネスは、条件ごとに異なつた

Table 3. バルブ篩分析値 (%)
Screen-analysis of Bamboo fiber

Species	Cooking conditions	Temp., time (°C) (min.)	mesh	mesh	mesh	mesh	mesh
			>24	24~42	42~80	80~150	150>
Bamboo (MÖSÖCHIKU)	173, 15		39.0	6.5	7.0	4.5	43.0
	" 30		39.0	5.5	6.0	3.0	46.5
	" 45		40.0	4.0	5.5	3.5	47.0
Red pine	173, 30		66.0	9.0	10.5	2.5	12.0

値を示したが (Table 2), おおむね Canadian Standard で 700 cc を基準として解繊条件を設定した。

ここで問題になるのは、竹材の柔組織の部分である。この柔組織は繊維化の際、微粉末状となりやすく、成板工程ならびにバルブ収率に大きな影響を与える。

Table 3 により明らかなように、蒸煮条件等に関係なく、木材質のバルブに比較し、80 メツシュ以下の特に細かい部分が非常に多く、約 1/2 量を占めている。この微細な部分がウェットホーミングに悪影響を与える。またこれをスクリーンにより取り除くと、収率に大きな影響があり、蒸煮条件と相まつて、解繊条件にもこの点を十分考慮にいれ、繊維化を行う必要がある。

3—3 ウェットホーミングならびに熱圧

試験板製作のため、1 枚当り絶乾重量 200 g のバルブを 22 cm 角の溜 (ため) 抄型ウェットホーミングマシンで抄造した。

なお、この際にはサイズ処理を行わなかつた。抄出後のウェットシートは湿量基準含水率約 90% もあるため、予備プレスで含水率 75% 程度まで下げ、ついで 37 トンの電熱式ホットプレスをを用い、つぎの条件で熱圧した。

圧縮圧力: 30 kg/cm² 圧縮温度: 180°C 圧縮時間: 11 分 (息ぬき 1 分)

本項試験では熱圧後の熱処理ならびに増湿処理をしなかつた。試験板は成板後温度 20°C、湿度 65% の恒温恒湿室中に 1 週間以上放置したのち、材質試験を行つた。

Table 4. 予備浸漬処理別、蒸煮時間別試験結果
Results of impregnation chemicals and cooking time on the properties of Bamboo fiberboard

Impreg- nation chemicals	Cooking conditions	Specific gravity in air dry	Static bending test			Water absorption test	
			Moisture content	Modulus of rupture	* Specific strength	Water absorp- tion	Rate of increase on the thickness
	Temp., time (°C) (min.)	(g/cm ³)	(%)	(kg/cm ²)		(%)	(%)
Water	173, 15	0.96	7.1	306	342	54.6	21.5
	" 30	1.01	5.9	470	492	42.1	16.6
	" 45	1.05	5.6	520	522	32.9	15.2
2%Na ₂ CO ₃	173, 15	0.98	7.1	230	253	70.1	39.0
	" 30	1.01	5.8	458	481	46.1	21.2
	" 45	1.02	5.8	534	541	33.3	16.6
2%H ₂ SO ₄	173, 5	1.01	6.7	517	548	45.8	20.2
	" 15	1.09	6.7	567	551	31.4	17.9
	" 30	1.12	6.4	580	556	30.4	17.9

*Specific strength = $\frac{\text{modulus of rupture}}{\text{specific gravity in oven dry}}$

3-4 材質試験ならびにその結果

上記により作製した試験板は、工業規格 JIS A5907 (1957) により材質試験を行つたが、吸水試験片は、試験板の都合上 10 cm 角のものを用い、吸水率測定と同時に、中心部の厚さの増加率をマイクロメーターにより測定した。試験結果は Table 4 ならびに Fig. 3 のとおりである。

以上の試験結果より、強度的には水またはアルカリ浸漬処理のものでも、30 分蒸煮程度で良好なボードが得られ、特に硫酸溶液に浸漬したものは、非常に短時間の蒸煮で、良好なボードの得られることがわかる。また硫酸処理のものは、蒸煮時間を長くしても、それほど効果なく、30 分を越えると逆に強度が減少する傾向が見られる。これに反し、水処理等のものは、蒸煮時間が長くなるほど効果が現われるが、フリーネスが低くなり、ウェットホーミングが困難になる傾向がある。

吸水率は、各処理ともあまり良い結果を示していない。曲げ強度と同様に吸水試験でも、酸処理が他の処理に比較し、はるかによい値を示しているが、長時間の蒸煮は、吸水率にも悪影響を与えている。これに反し、水処理等では、蒸煮時間の長いほど耐水性の良いボードが得られるが、蒸煮時間が 30 分程度以下では良い結果を示さない。

材質的には以上のような傾向が見られるが、パルプ収率の点では、酸処理は他の処理に比較し非常に悪く、蒸煮時間 5 分のもので、すでに収率 60% 台に落ちる。これはペントーゼン含有率の多い原料、特に竹材に対する酸処理の問題になる点といえる。

4. チツプ浸漬処理ならびに蒸煮試験 (Ⅱ)

硫酸溶液濃度別試験

上記試験で、硫酸溶液を蒸煮前にチツプに浸透させた

場合、強度ならびに耐水性にも、単時間の蒸煮処理でよい効果のあることが判明したが、前述のごとく、パルプ収率が極端に悪くなるので、硫酸溶液濃度をつぎのごとく変化させて、収率ならびにボード材質に対する影響を検討した。

硫酸溶液濃度は 0.5%, 1.0%, 2.0% を用い、蒸煮、解繊、成板条件は前項と同様に行つた。ただし、蒸煮時間は、15 分の一定とした。試験結果は Table 5 ならびに Fig. 4 のとおりである。

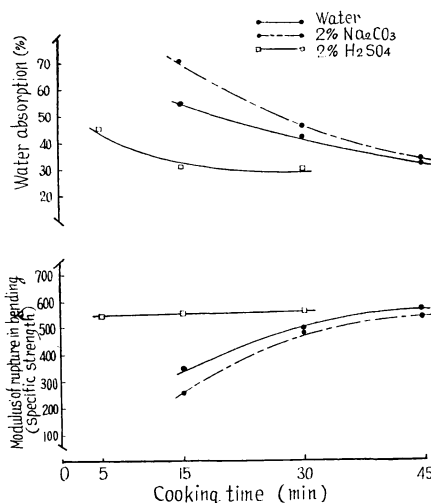


Fig. 3 予備浸漬処理別、蒸煮時間別材質
Results of impregnation chemicals and
cooking time on the properties of
Bamboo fiberboard

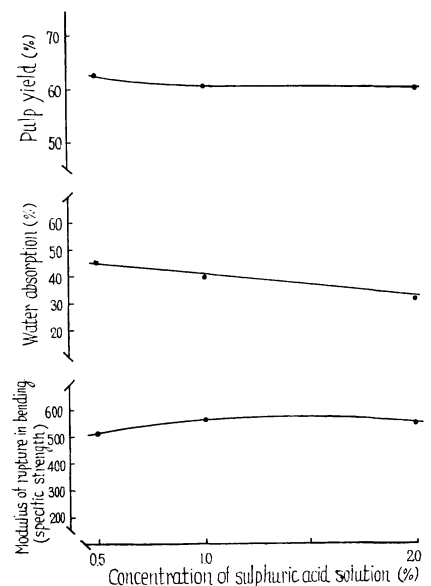


Fig. 4 硫酸溶液濃度別試験結果
Results of sulphuric acid impregnation
cooking on the pulp yield and properties
of Bamboo fiberboard

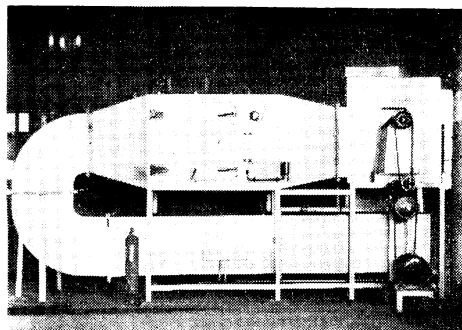
Table 5. 硫酸溶液濃度別試験結果

Results of sulphuric acid impregnation cooking on the properties of Bamboo fiberboard

Concentration of H_2SO_4 sol.	Liquor pH	Pulp		Static bending test		Water absorption test	
		Yield	Freeness	Modulus of rupture	Specific strength	Water absorption	Rate of increase on the thickness
(%)		(%)	(cc)	(kg/cm^2)		(%)	(%)
0.5	2.7	65.2	760	484	517	45.2	21.9
1.0	2.6	61.1	736	545	561	39.3	19.6
2.0	2.1	60.9	708	567	551	31.4	17.9

Cooking temperature: $173^\circ C$ Cooking time: 15 min.

以上の結果を見ると、硫酸溶液濃度を下げても、収率ならびに曲げ強さ等には大きな差が認められない。ただし総括的にみて、1% 濃度の場合が良い結果を示した。



Phot. 2 Heat treating chamber

5. 熱処理試験

前述までの試験で、竹材を丸釜で短時間蒸煮する方法により、強度的には良好なボードを作りうる事がわかるが、耐水性では満足する結果を得ていない。これに対しては、サイズ剤を使用して、耐水効果を上げることが、当然考えられるが、この試験では、サイズ処理を行わず、前述同様に予備浸漬、蒸煮（蒸煮時間は 15 分に一定）、解繊、成板したものに付き、熱圧

後熱処理を行い、耐水性ならびに強度に与える効果を試験した。

Table 6. 熱処理温度別試験結果

Results of heat treating temperature on the properties of Bamboo fiberboard

Impregnation chemicals	Heat treating temperature	Static bending test		Water absorption test	
		Modulus of rupture	Specific strength	Water absorption	Rate of increase on the thickness
	($^\circ C$)	(kg/cm^2)		(%)	(%)
Water	Non-treating	267	295	60.5	28.3
	130	279	312	55.1	24.4
	150	290	324	42.0	17.6
	170	348	379	13.6	10.1
2% Na_2CO_3	Non-treating	179	207	62.1	25.9
	130	195	226	58.0	21.0
	150	207	233	54.2	18.5
	170	253	291	20.7	16.8
0.5% H_2SO_4	Non-treating	502	505	37.0	19.7
	130	488	509	17.5	13.6
	150	493	511	11.4	10.6
	170	550	562	11.3	8.6
1% H_2SO_4	Non-treating	626	609	31.2	17.3
	130	613	600	14.0	12.5
	150	618	604	10.7	10.1
	170	541	541	9.9	7.3
2% H_2SO_4	Non-treating	565	554	28.4	14.8
	130	600	586	9.7	10.0
	150	620	598	9.3	8.2
	170	489	486	9.3	7.6

装置は実験室型 ヒートトリートメントチャンバー (Phot. 2) を使用し、処理時間は4時間に一定し、温度 130°C, 150°C, 170°C について、無処理のものと比較検討した。試験結果は Table 6 ならびに Fig. 5 のとおりである。

この結果より、熱処理を行うことによつて、耐水性に大きな効果を上げることがわかる。ただし酸処理のものと、他の処理のものとは、はつきり異なつた傾向を示した。

すなわち硫酸溶液処理のものは、熱処理による効果が顕著でなく、特に曲げ強さでは、熱処理の度合を高めることにより、逆効果が現われている。

これに反し、水処理等においては、熱処理効果が特に顕著で、熱処理の度合を高めるほど効果があがつている。その点、水処理による蒸煮でも、廃液の pH からわかるように、170°C 程度の高温蒸煮を行えば、当然チップから生成する有機酸により、一応酸蒸煮となり、蒸煮温度を高め、時間を長くすることにより、酸による影響の度合は、高くなつていくわけであるが、やはり酸溶液を使つたものとは傾向が異なる。同様に硫酸 0.5% 溶液処理のものは、酸の影響が少ないためか、曲げ強さにおいては、水処理等と同様な傾向を示している。またアルカリ処理のものは、この程度の薬品使用量では、いくぶん有機酸の影響を緩和する程度の働きしか行わず、できたボードの材質は同じ蒸煮条件の水処理に劣る結果となつている。

また吸水率において、水処理等の場合は、熱処理温度を高くすればするほど、非常に良くなつてくるが、酸処理の場合は、一応無処理のものに比較し、熱処理効果は認められても、処理温度の上昇による効果はほとんど認められない。以上のような傾向は Table 7 に示した成分的な変化とあわせ考えるとき、興味のある問題といえる。

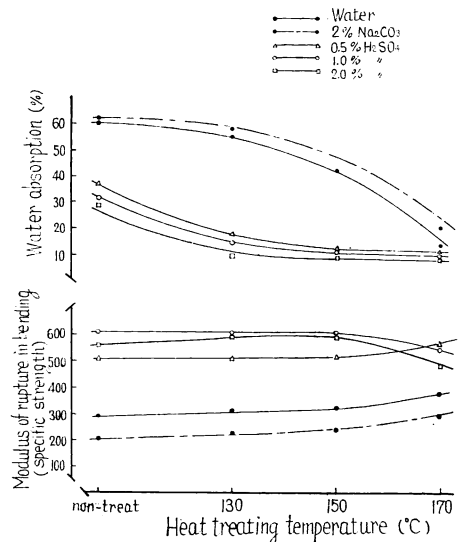


Fig. 5 熱処理温度別材質
Results of heat treating temperature on the properties of Bamboo fiberboard

Table 7. 各種処理別成分表 (%)
Chemical compositions of Bamboo and fibers obtained by several treatments

Impregnation chemicals	Ash	Pentosan	Lignin	Cellulose
Bamboo (non-treating)	1.04	25.8	25.1	46.99
2%Na ₂ CO ₃	0.47	21.3	25.3	52.72
Water	0.54	18.9	26.5	52.96
0.5%H ₂ SO ₄	0.43	13.4	27.8	57.39
1.0% "	0.59	8.7	27.1	58.67
2.0% "	0.64	6.4	22.5	59.32

6. む す び

モウソウチクを原料として、回転丸釜を用い、蒸気直接吹込みによる蒸煮ならびに常圧解繊によつて、ファイバーボード用パルプを製造する場合、硫酸溶液を蒸煮前にチップに浸透する方法は、強度的に非常に良好なボードを作りうるが、パルプ収率が極端に悪くなるので良法とはいえない。これに反し、蒸煮前に水を浸透させて蒸煮を行う方法は、強度ならびに収率も高いパルプをうる事ができる。また青竹の場合も、含水率が高いので、チップそのままを前処理なしに蒸煮して、ほとんど同様な結果をうる事ができた。

なお一般に竹パルプのボードは耐水性が不良であるが、熱圧後、熱処理を行うことにより改善される度合が大きい。また竹材は、繊維化した場合、柔組織が微粉状となり、このためパルプ収率ならびにウェットホーミングに大きな影響を与えるので、蒸煮条件、繊維化条件に特に注意する必要がある。

つぎに、回転丸釜蒸煮による、竹材（モウソウチク）処理の適正条件を工程順に要約する。

- (1) 青竹（湿量基準含水率 40% 前後）の場合は、チップそのままでも良いが、含水率の低いチップは水中に浸漬して、十分水を浸透させる。
- (2) 蒸煮条件は、温度 173°C 前後の場合、30～40 分が適当である。
- (3) 蒸煮チップの解繊は、ディスクリフアイナーを使用する場合、2 段階解繊とし、微細粉を作らぬよう注意する必要がある。
- (4) 以上のような処理を行った場合、チップからのパルプ収率は 75% 程度である。
- (5) 熱圧条件は、木材の場合と特に変える必要は認められない。
- (6) 耐水性向上のため、熱処理が効果大であり、その処理温度は 150～170°C が適当である。

なお、このような製造法を行った場合、問題となるのは、蒸煮釜の寿命の点であり、廃液の pH が 3.7 程度になるので、蒸煮釜ならびに解繊装置に至るまでの製造装置に対し、耐酸処理を十分考えなければならない。

ただし、竹材のような、成分的に加水分解により影響を受けやすい原料は、以上のような欠点はあつても、アルカリ側の蒸煮を行うよりは、チップそのまま、または前もつて水浸漬を行う蒸煮によつた方が、有利と考えられる。

なおこの方法によれば、蒸煮の際の副産物として、フルフラール採取の可能性が考えられ、非常に興味のある問題である。

最後に、原料モウソウチクの入手に際し、種々御配慮を賜つた、元熊本営林局経営部長中川久美雄氏、元八代営林署長南良一郎氏ならびに同営林署関係各位および當場元熊本支場長内藤信行氏に深甚の謝意を表する。

文 献

- 1) 草本性パルプ資源活用に関する勧告、資源調査会勧告第 8 号、(1950, 昭. 25)
- 2) 上田弘一郎：竹林の仕立方、林野庁編、(1954, 昭. 29)
- 3) 右田伸彦：パルプ及製紙工業実験法、共立出版株式会社、(1943, 昭. 18)

**Studies on the Production of Fiberboards from Bamboo (I)
Manufacturing process at high temperature cooking and the atmospheric
defibering from MÖSÖCHIKU**

Yasaburo SANO, Shigeharu ISHIHARA and Sadao NAGASAWA

(Résumé)

Described herein are the experimental reports on the manufacturing of fiberboards from one kind of bamboo in Japan (MÖSÖCHIKU, *Phyllostachys pubescens*).

As the pre-treating of the bamboo, the undermentioned chemicals are impregnated into the bamboo chips before cooking in the digester:

- a) H_2O
- b) Na_2CO_3 solution (2% sol.)
- c) H_2SO_4 solution (0.5%, 1.0% and 2% sol.)

And thus pre-treated chips are charged into rotating spherical digester for direct cooking by steam under the following conditions:

- a) Cooking temperature: $173^{\circ}C$
- b) Cooking time*: 15, 30 and 45 minutes for the above (a) and (b) pre-treatment, 5, 15 and 30 minutes for the above (c) pretreatment.

*These minutes of time are the time retained at the temperature of $173^{\circ}C$.

After cooking, the chips are two times refined with the laboratory type Sprout Waldron refiner (diameter is 12 inches).

Next, wet sheets are formed by forming machine, and those sheets were consolidated into test boards by means of hot pressing under the following conditions:

- a) Pressing temperature: $180^{\circ}C$
- b) Pressing time: 11 minutes
- c) Pressing pressure: 30 kg/cm^2

Although the so-called chemical sizing for pulp was not executed, experiments on the heat treating under the following conditions was performed respectively for the water-repellent property:

- a) $130^{\circ}C$ for 4 hours
- b) $150^{\circ}C$ for 4 hours
- c) $170^{\circ}C$ for 4 hours

As the result, the following technical conclusions were arrived at.

- A) Sulphuric acid impregnation into chips before cooking is not recommendable even if it is five percent solution, because it causes comparably higher loss in pulp yield, though it still gives the boards high strength.
- B) Impregnation of water into chips and followed by cooking in the conditions of $173^{\circ}C$ and 30~40 minutes, proved to be better in respect both to the pulp yield and quality of boards.
- C) In the case of chip defibration with the disc refiner, double stage refining may be preferable to prevent resultant fine or short pulp.

D) Conditions in hot pressing are not different from those in the wood pulp sheet.

E) Heat treating in the conditions of 150~170°C and 4 hours is proven to be efficient for increasing the water-repellent property.

We think that the digester, the refiner, the piping, and other equipment must be protected against the acid formed during the chip cooking; however, there is one useful point, furfural can possibly be gained as a by-product.