

アカシアマンギウム樹皮からの接着剤および成型物の製造*

小川 莊介****, 矢野 浩之**

Utilization of *Acacia mangium* bark for adhesives and molding materials*

Sousuke Ogawa**** and Hiroyuki Yano**

概要

アカシアマンギウムの樹皮には、多くの縮合型タンニンが含まれている。本稿では、樹皮の有効利用の観点から、樹高方向での樹皮、抽出物の量的分布や伐採直後からの貯蔵期間あるいは樹皮乾燥条件が抽出物量およびその硬化特性に及ぼす影響などについて報告する。また、樹皮粉末の用途の一つとして評価した樹皮粉末接着剤の性能、樹皮粉末成形体の性能についても報告する。

1. はじめに

アカシア類の樹皮には、縮合型タンニンが多く含まれる。縮合型タンニンは、ホルムアルデヒドあるいはホルムアルデヒド系接着剤と反応して縮合硬化することから、接着剤や成形物用材料としての利用が期待される。近年、アカシアマンギウムの樹皮に特に多くのタンニン（レゾルシノール型）が含まれていることが見いだされた¹⁾。さらに、我々は、その外樹皮をミルで粉碎し機械的に篩うと、粒径 63 μm 以下に、縮合型タンニンを 50～60% も含む微粉末を 50% 近い収率で集められることを見いだした²⁾。この微粉末は、ホルムアルデヒド水溶液と混合すると、タンニン抽出プロセスを経ることなく耐水性のある合板用接着剤として直接利用できる。このことから、工業的レベルでの樹皮粉末の利用を目指し、様々な検討を行ってきた。

本稿では、2002 年 5 月、インドネシアにおいて伐採したアカシアマンギウムに関し、樹高方向での樹皮、抽出物の量的分布、質的变化、さらには伐採直後からの貯蔵期間あるいは乾燥条件が樹皮抽出物量およびその硬化特性に及ぼす影響などについて報告する。また、樹皮粉末の用途として検討した樹皮粉末接着剤の性能および合板用フェノール樹脂接着剤への粉末添加の効果、さらには樹皮粉末成形体の性能について報告する。



図 1 : 10 年生のアカシアマンギウム林地、ボゴール

*2011 年 8 月 19 日受理

**〒611-0011 宇治市五ヶ庄 京都大学生存圏研究所生物機能材料分野 E-mail: yano@rishi.kyoto-u.ac.jp

***現(株)ウッドワン

2. 高さ方向における樹皮量の分布

インドネシア、ボゴールの 10 年生の植林地 (KANTOR KEBUN BENIH B. T. P PARUNG PANJANG KAB. BOGOR、図 1) に
おいて、アカシアマンガウムを 2 本伐採し (個体 A, B)、
地際から 3 m ごとに幹部を切断、重量を測定した。個体 A
については、各丸太のほぼ中央部から、円周方向に樹皮を
剥離した。また、個体 B については、樹皮をすべて剥離、
重量を測定し、樹幹に占める樹皮量の高さ方向での変化等
を明らかにした (図 2)。結果を表 1 に示す。

表より、丸太重量の約 1 割を樹皮が占めていることがわ
かる。乾燥により樹皮重量は減少したが、その程度は、採
取位置が高いほど大きかった。

樹皮は、褐色の外樹皮と白色の内樹皮に分けることがで
きる。アカシアマンガウムでは、タンニンには主に外樹皮に
含まれており、内樹皮のタンニン量はわずかである。そこで、採取高さ
と樹皮に占める外樹皮の比率との
関係について検討した。外樹皮乾燥重量の高さ方向における変化を表 1 に、樹皮に占める外樹皮の比率に
ついて表 2 に示す。表 2 より、採取位置が高くなるにつれて、個体 A, B とともに外樹皮の比率は減少する
ことがわかる。地際から 1.3 m では、個体 A, B とともに約 8 割が外樹皮であったが、13.3 m では、それ
は約 5 割にまで低下した。この様な変化は樹皮の外観とも対応しているように思われる。すなわち、地際
から 3 m 程度までは、樹皮は褐色の荒い、ゴツゴツした状態であるが、高くなるにつれて、次第になめら
かな性状になり、色も緑味を帯びてくる (図 3)。また、乾燥後の外樹皮重量は、表 1 から計算できるよう
に、地際から 6 m までの範囲で全乾燥外皮重量の約 3/4 を占めていた。



図 2 : 樹皮の剥離

表 1 : 個体 B における高さ方向での樹皮量分布

樹高 (m)	丸太 (kg)	樹皮 (kg)	乾燥外樹皮 (kg)
0-3	235	21.8	9.6
3-6	178	14.5	5.1
6-9	130	10.4	3.3
9-12	60	5.7	1.4
12-15	26	2.8	0.6

表 2 : 樹皮の採取高さとお樹皮率

採取高さ (m)	個体 A	個体 B
	外樹皮 (%)	外樹皮 (%)
1.3	83.2	79.8
4.3	74.9	72.2
7.3	64.1	66.0
10.3	59.7	56.4
13.3	55.2	52.1

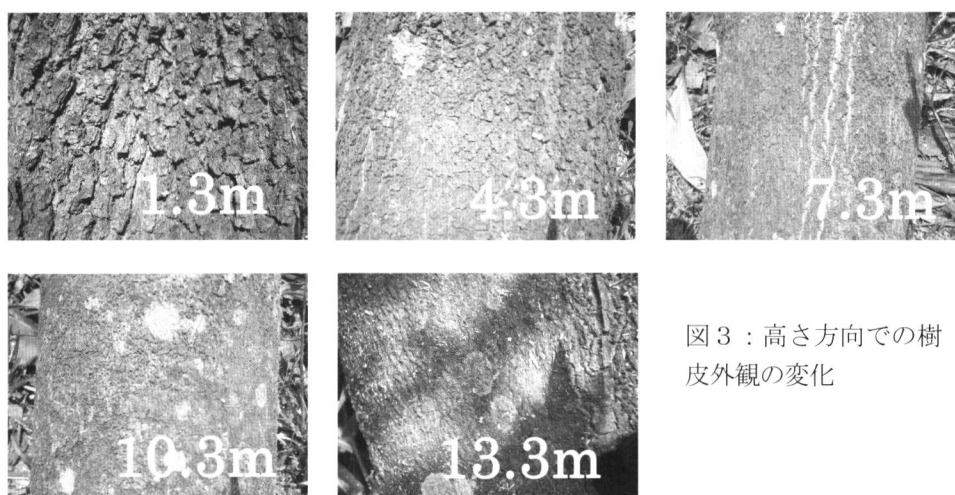


図3：高さ方向での樹皮外観の変化

3. 高さ方向におけるタンニン量の分布

高さごとに採取した樹皮について、含水率 10% 前後に乾燥した後、外樹皮と内樹皮に分け、それぞれウィリーミル (0.5 mm メッシュ) を用いて粉碎し、樹皮粉末を得た。

この樹皮粉末について、乾燥粉末約 30 g に重量比 5 倍のメタノールを加えて 30℃ で 30 分間攪拌した後、フィルターペーパー (#100) を用いて濾過した。その際、15 ml のメタノールで 3 回洗浄を行った。得られたメタノール抽出物溶液をエバポレーターにより濃縮した。メタノール量が抽出物に対して少なくなり、徐々に沸騰し始める時点で濃縮を停止し、これに蒸留水を約 30 ml 加えて良く攪拌した後、凍結乾燥により固形抽出物を得た。抽出前の樹皮粉末全乾重量と固形抽出物重量の比率からメタノール抽出物の収率を求めた。

外樹皮に含まれるメタノール抽出物の収率と採取高さの関係について表3に示す。表より、採取高さが高くなるにつれてメタノール抽出物の量が急激に減少することがわかる。すなわち、高さ 1.3 m で採取した樹皮は、いずれの個体でも、メタノール抽出物は樹皮重量の約半分にまで達したが、高さ 13.3 m からの樹皮ではメタノール抽出物の収率は 10% 以下にまで低下した。

表3：樹皮採取高さと外樹皮メタノール抽出物の収率

	個体 A	個体 B
採取高さ (m)	収率 (%)	収率 (%)
1.3	48.0	43.7
4.3	30.0	32.7
7.3	21.2	18.3
10.3	11.6	13.5
13.3	9.6	8.8

アカシア樹皮からのメタノール抽出物は、すべてがタンニンではない。そこで、メタノール抽出物中でのタンニン量について、抽出物とホルムアルデヒドとの反応性を示す値である Stiasny 値³⁾を用いて評価した。Stiasny 値はタンニンの純度を示すだけでなく、接着剤原料としての性能にも関わる指標で、本研究では以下の方法で求めた。すなわち、メタノール抽出物を約 100 mg ナスフラスコにとり、蒸留水を 10.0 ml 加え、さらに 37% ホルマリンを 2.0 ml、触媒としての塩酸 (10 N) を 1.0 ml 加えて、還流管を取り付けて、溶液が沸騰し始めてから 30 分後にガラスフィルター (No. 3) た。その際、ナスフラスコを 20 ml の温水で 2 回、20 ml のメタノールで 1 回洗浄し、ガラスフィルターを通した。堆積物が残留してい

るグラスフィルターごと 105℃ の乾燥機内で 1 日間乾燥させた。グラスフィルター上の残留物の重さを測定し、それを最初の抽出物量で除して Stiasny 値を求めた。さらに、タンニン量としてより正確に評価するために、抽出物の Stiasny 値をタンニンの基本単位であるカテキンの Stiasny 値で割り、Adjusted Stiasny 値とした。

表 4 に、採取高さとメタノール抽出物の Adjusted Stiasny 値の関係について示す。Adjusted Stiasny 値が 100% であると言うことは、抽出物がホルムアルデヒドに対しカテキンと同じ反応性を示す、すなわち、抽出物の 100% がホルムアルデヒドと反応し縮合硬化するタンニン（厳密な定義はここでは行わない）であることを意味している。表より、1.3 m の高さから採取した外樹皮からのメタノール抽出物は、そのほとんどがタンニンであることがわかる。しかし、採取高さが高くなるにつれてタンニン含有率は減少し、13.3 m では 60～70% であった。

表 4：樹皮採取高さと抽出物 Adjusted Stiasny 値

採取高さ (m)	個体 A	個体 B
	Ad. Stiasny 値 (%)	Ad. Stiasny 値 (%)
1.3	95.3	99.4
4.3	88.9	93.1
7.3	85.4	83.4
10.3	76.7	76.1
13.3	63.9	69.6

以上の表 1～表 4 の結果より、アカシアマンギウムでは、地際に近いほど、外樹皮の絶対量が多く、また、樹皮に含まれるタンニン量も多いことがわかる。採取位置 1.3 m では、樹皮（内樹皮も含む）の約 40% がタンニンであり、高さ方向における樹皮量の分布を考慮すると、今回伐採した 10 年生のアカシアマンギウムでは、地際から 6 m までの間に、全タンニン量の約 9 割が存在しており、また、個体 B については、総樹皮量調査から高さ 6 m までの樹皮をすべて採取しメタノール抽出を行うと、約 5.9 kg のタンニンが得られることがわかる。表 1 に示した様に、今回伐採したアカシアマンギウムの 6 m までの幹では、生材重量は 370 kg であった。その含水率を 100% と仮定すると、乾燥木材の重量は 185 kg になる。したがって、高さ 6 m までの丸太を利用する場合は、乾燥木材重量の約 3% のタンニンが同時に得られることになる。合板のような接着剤成分が製品重量の 3% 程度を占める木質材料であれば、計算上は、アカシアマンギウムだけから、木材エレメントだけでなく接着剤もまかなえる計算になる。

4. 高さ方向における抽出物のゲル化時間の変化

メタノール抽出物のホルムアルデヒドとの反応性については、上述したとおり Stiasny 値により評価できるが、接着剤あるいは成型物原料としての、より実用的な見知からは、ホルムアルデヒドとの混合後のゲル化時間の評価が有用である。そこで、メタノール抽出物（0.7 g）とパラホルムアルデヒド（0.07 g）を試験管に取り、蒸留水（1.5 g）を加えて 90℃ の温浴に入れ、ガラス棒で攪拌しながらゲル化時間を測定した。採取高さとゲル化時間の関係について表に示す。採取位置が低いほど、タンニン含有率が高いため、ゲル化が早く起こると考えられたが、実際は、採取位置が高くなるにつれてゲル化時間は短くなり、13.3 m では、約 14 分であった。これについて、さらに低いゲル化温度で検討したところ、高さ 13.3 m からの抽出物は、蒸留水を加え室温で攪拌するだけで、ゴム状に変化することが知られた。既往の文献などから推測すると、高い位置から採取した樹皮には、高分子量の多糖類が多く含まれており、それにより見かけ上ゲル化している様になると考えられた。一方、タンニン含有率がほぼ 100% である、採取位置 1.3 m からのメタノール抽出物は、ゲル化時間は 90℃ で約 30 分である。高い位置から採取したメタノール抽出物に比べ、ホルムアルデヒドとの混合後も急激な粘度の増大は起こりにくい、すなわち、ポットライフの長い、取り扱いの容易な接着剤となることが推測される。

表5：樹皮採取高さでメタノール抽出物のゲル化時間

採取高さ (m)	個体 A	個体 B
	ゲル化時間 (分)	ゲル化時間 (分)
1.3	31.3	29.0
4.3	17.5	23.5
7.3	13.8	14.5
10.3	3.0	1.0
13.3	0.5	0.5

5. 樹皮粉末の特性に及ぼす貯蔵期間、乾燥条件の影響

以上の結果から、今回伐採した 10 年生のアカシアマンギウムは、地際から 6 m までの範囲の樹皮に、ホルムアルデヒドと反応しゲル化するメタノール抽出物を極めて高濃度で含むことが明らかになった。これまでの検討で、我々は、その様な樹皮は、外樹皮をミルで粉碎し機械的に篩うと、粒径 63 μm 以下に、縮合型タンニンを含む微粉末を 50% 近い収率で集められることを見いだしている²⁾。さらに、その微粉末は、ホルムアルデヒド水溶液と混合するだけで耐水性を有する合板用接着剤として直接利用できた。このことは、溶媒等を用いたタンニン抽出プロセスを経ることなく、微粉末を接着剤や成型材料の原料として直接利用できることを示している。機械的手法によるタンニンの濃縮は、溶媒を用いた化学的抽出システムより明らかに環境負荷が少なく、また、装置的にも簡便であることから、実用化は比較的容易であると思われる。そこで、実用化にあたっての重要検討事項として、メタノール抽出物の特性に及ぼす樹皮の保存期間、乾燥条件の影響について検討した。

a) 保存性

最初に、樹皮の保存性の評価として、個体 A について、1) 伐採した幹の一部を室内に放置し、そこから定期的に樹皮を剥離した場合（採取位置：地際から 1 m 付近および 10 m 付近）と、2) 剥皮後、直ちに 50℃ で二日間乾燥し、含水率を 10% にまで低下させてから室内に放置した場合について、伐採直後、2 週間後、1 ヶ月後、3 ヶ月後にメタノール抽出物の収率、Adjusted Stiasny 値、ゲル化時間を測定した。結果を図 4 に示す。

上述したとおり、約 1 m の高さから採取した樹皮はタンニン含有率、含有量ともに高い値を示すが、図より明らかな様に、伐倒後、剥皮しないで置いた場合も、伐倒後、乾燥して室温で貯蔵した場合も、メタノール抽出物収率、Adjusted Stiasny 値、ゲル化時間は、ほとんど変化しなかった。地際に近い部分の樹皮は、多くのタンニンを含むだけでなく、その保存性も良いといえる。一方、約 10 m の高さから採取した、緑味を帯びた外観を示す樹皮では、経過時間とともにメタノール抽出物収率が低下した。タンニン以外の成分が構造変化を生じ、それにより樹皮中のタンニンが抽出されにくくなっていることが考えられる。また、Adjusted Stiasny 値も時間経過とともに低下したことから、保存

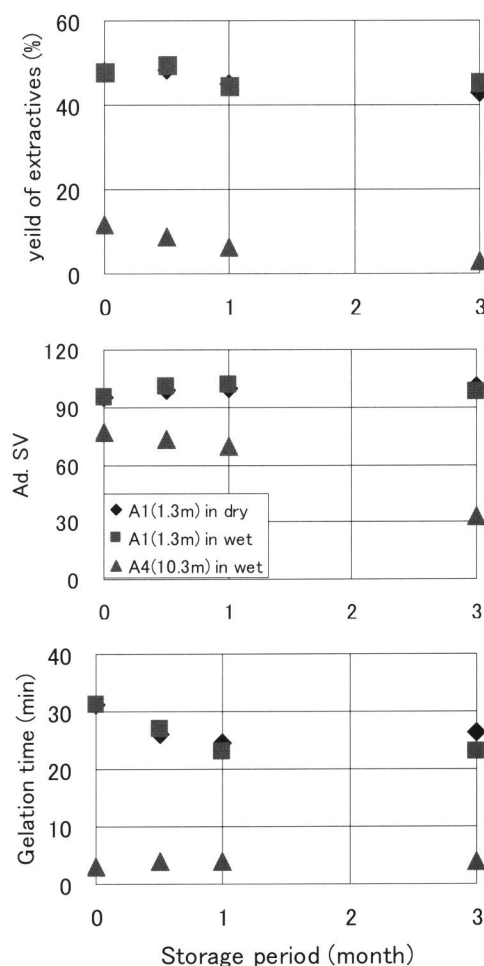


図 4：貯蔵期間とメタノール抽出物収率、Adjusted Stiasny 値、ゲル化時間の関係

性を考えた場合も、アカシアマンガウムでは、樹皮は出来るだけ低い位置から採取した方が良いと思われる。

b) 乾燥温度の影響

個体 A の 1.25 m より下に向かって 15 cm 巾で、また、10.3 m より上に向かって 40 cm 巾で、それぞれ樹皮を採取した。その後、樹皮を 5 つに分けて、105℃、90℃、70℃、50℃ および全く熱を加えない方法として凍結乾燥を用いて、それぞれ 2 日間乾燥させた。乾燥温度とメタノール抽出物の収率、Stiasny 値、ゲル化時間の関係について図 5 に示す。105℃ で二日間乾燥しても、凍結乾燥した樹皮とほぼ等しいメタノール抽出物の収率、Stiasny 値、ゲル化時間を示すことがわかる。105℃、二日間という乾燥条件あるいは熱処理条件は、木材の吸湿性、寸法安定性に有意な影響を及ぼす条件である。そのような木材構成成分の一部に変性を生じる熱処理条件であっても、樹皮からのタンニン抽出率に変化が起これないということは、特筆すべきことである。もちろん、この結果は、タンニンの構造が変化していないことを示すものではなく、その点については、さらなる検討が必要である。しかし、ホルムアルデヒドとの反応性を示す Stiasny 値、ゲル化時間においてほとんど変化が起これいないという事実は、接着剤原料あるいは成型物原料としての利用を考えた場合、樹皮粉末が極めて熱的に安定した原料であることを示しており、その実用化の根本を支える重要な知見といえる。

6. 接着剤原料としての樹皮粉末の利用

以上の結果を基に、接着剤原料としての樹皮粉末の性能について検討した。すなわち、個体 B の 1.3 m 付近の樹皮を、伐採後すぐに 50℃ で二日間乾燥し、その後 2 ヶ月放置した後、内樹皮と外樹皮に分け、外樹皮のみをウィリーミル (0.5 mm パス) を用いて砕き、500-250、250-125、125-63 および 63 μ m 以下に篩い分けた。各サイズの樹皮粉末について、重量比率、メタノール抽出物収率ならびに Stiasny 値を表 6 に示す。

表より、0.5 mm のメッシュを有するウィリーミルで粉碎した場合、粒径 63 μ m 以下の微粉末が全樹皮粉末の約 50% を占め、さらに、その 63 μ m 以下の微粉末は、約 60% もの高濃度でメタノール可溶のタンニンを含有していることがわかる。粒径 500-250 μ m サイズの粉末と比べると、タンニン収率は 2 倍に達しており、粉碎、篩い分けという機械的手法により、タンニン量の多い部分を集められることがわかる。

表 6 : 粒径分布とメタノール抽出物収率および Ad. Stiasny 値

粒径 (μ m)	重量比率 (%)	抽出物の収率 (%)	Ad. Stiasny 値 (%)
500-250	7.5	30.8	100.2
250-125	22.7	31.9	99.8
125-63	22.6	35.5	98.9
63-	47.2	63.9	98.0

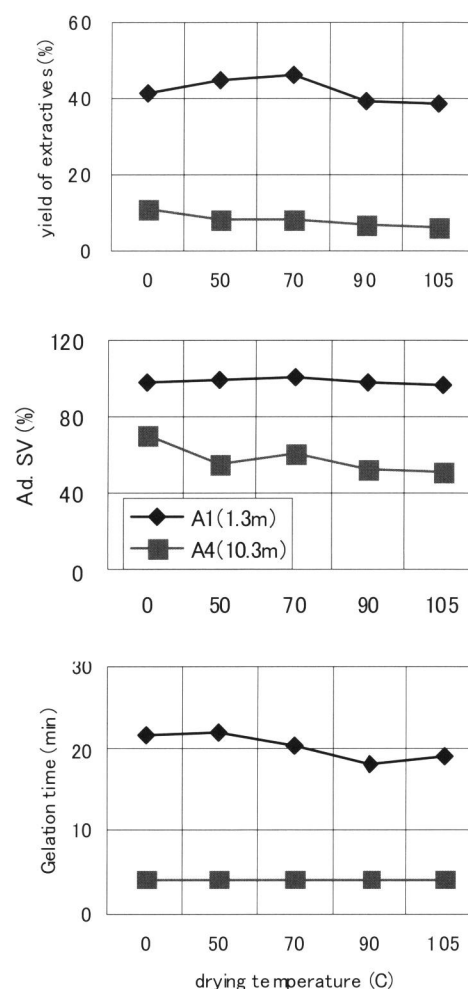


図 5 : 乾燥温度とメタノール抽出物収率、Adjusted Stiasny 値、ゲル化時間の関係。

このことから、粒径が 63 μm 以下の樹皮粉末を用いて接着剤原料としての性能を評価した。樹皮粉末：100 部、パラホルムアルデヒド：10 部、水：165 部として、不揮発分が 40% になるように接着剤を調整し、さらに水酸化ナトリウム水溶液により pH を 8 に調節して 3 層合板を作製した。合板用単板には含水率約 10% のロータリーレースにより作成したレッドメランチ単板（厚さ：1.6 mm）を使用し、塗布量は 100、200 あるいは 400g/m²（片面塗布）とした。圧縮圧力 10 kgf/cm² で 30 分間コールドプレスをした後、圧縮圧力 10kgf/cm² で 5 分間熱圧縮した。圧縮温度は 90℃ から 130℃ まで 10℃ 刻みで変化させた。得られた 3 層合板については、JISK6851 にしたがって常態試験と 72 時間連続煮沸試験により性能を評価した。塗布量 200g/m²（片面）の結果を図 6 に示す。

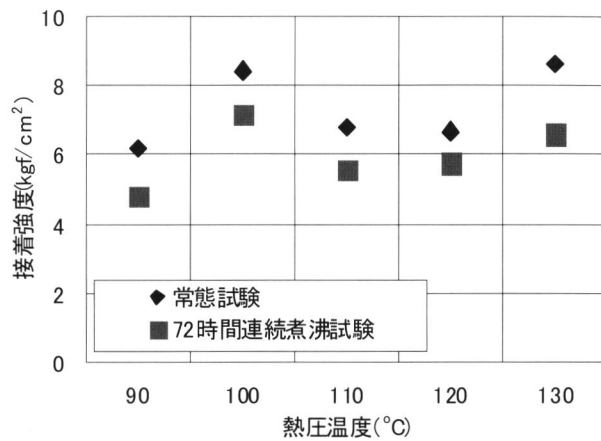


図 6：樹皮粉末接着剤合板の接着強度

図 6 および表 7 の木破率より、樹皮粉末とホルムアルデヒドだけで耐水性を有する合板が得られていることがわかる。さらに、圧縮温度が 100℃ でも、130℃ と同等の接着強度が、常態だけでなく煮沸試験後も得られたことは注目に値する。これは、アカシアマンガウムに含まれる縮合型タンニンがレゾルシノール型で、ホルムアルデヒドと比較的低温で付加・縮合反応するためといえる。このことは、ホルムアルデヒド系接着剤への樹皮粉末添加により、熱圧温度を低下できることを示唆している。そこで、フェノール樹脂接着剤への樹皮粉末添加の効果について検討した。

図 6 および表 7 の木破率より、樹皮粉末とホルムアルデヒドだけで耐水性を有する合板が得られていることがわかる。さらに、圧縮温度が 100℃ でも、130℃ と同等の接着強度が、常態だけでなく煮沸試験後も得られたことは注目に値する。これは、アカシアマンガウムに含まれる縮合型タンニンがレゾルシノール型で、ホルムアルデヒドと比較的低温で付加・縮合反応するためといえる。このことは、ホルムアルデヒド系接着剤への樹皮粉末添加により、熱圧温度を低下できることを示唆している。そこで、フェノール樹脂接着剤への樹皮粉末添加の効果について検討した。

表 7：樹皮粉末接着剤合板の木部破断率 (%)

熱圧温度 (°C)	90	100	110	120	130
常態	85	80	65	80	78
72 時間煮沸	68	92	80	85	87

7. フェノール樹脂への樹皮粉末添加の効果

フェノール樹脂接着剤（PL-251N, pH 11.4, 群栄化学）に接着剤の不揮発分が 40% になるように水、樹皮粉末を加えて接着剤を調整した。フェノール樹脂接着剤と外樹皮粉末の重量比率は 80:20 である。コントロールとしてフェノール樹脂のみ（100:0）の接着剤も調整した。合板の製造は、レッドメランチのロータリーレース単板を用い、接着剤塗布量は 200 g/m² とした。10 kgf/cm² で 30 分間コールドプレスした後、10 kgf/cm²、5 分間熱圧縮した。熱圧温度は、90℃ から 130℃ まで 10℃ 刻みで変化させた。合板における接着強度について図 7 に示す。

図より、常態では樹皮粉末を添加した接着剤の方がフェノール樹脂のみの接着剤より高い接着力を示すことがわかる。その傾向は熱圧温度が低いほど顕著で、特に 90℃ での熱圧において明確な差が認められる。これはレゾルシノール型タンニンによる硬化温度の低下効果によると考えられる。

樹皮粉末添加の効果は 72 時間煮沸後の接着強度でも明確であった。すなわち、100℃ での熱圧では、フェノール樹脂接着剤のみで製造した合板は、煮沸実験中に剥離したが、樹皮粉末を 20% 添加した接着剤では、90℃ の熱圧においても、煮沸後も高い接着強度を示した。また、木破率も高い値を示した（表 8）。以上の結果から、アカシアマンガウム外樹皮の微粉末は、木材用接着剤への添加剤として、熱圧温度の低減、耐水性の向上において極めて有用であるといえる。

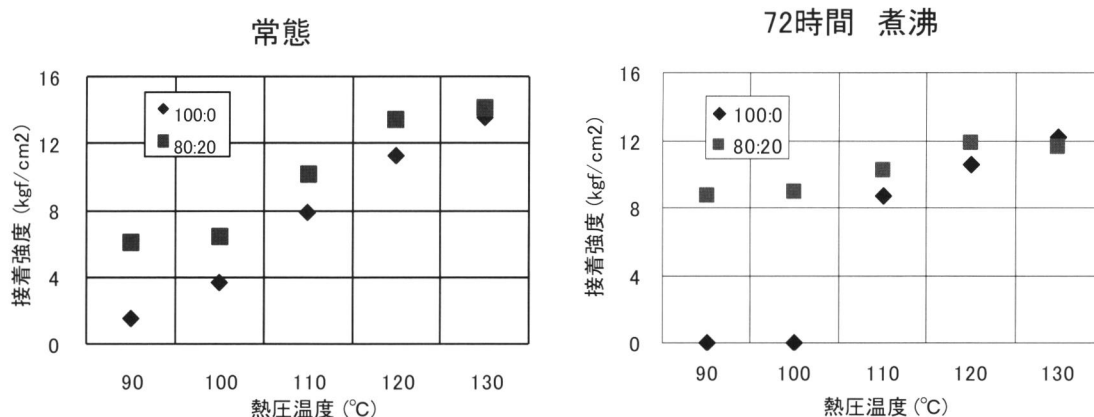


図7：樹皮粉末添加フェノール樹脂接着剤の接着性能

表8：樹皮粉末添加フェノール樹脂接着剤を使用した合板の木部破断率 (%)

熱圧温度 (°C)	90	100	110	120	130
常態	28	45	55	60	93
72 時間煮沸	93	92	93	93	100

8. 樹皮粉末を用いた成型物の製造

パルプ (NBKP、ロジポールパイン 50%、ホワイトスプルース 40%、ダグラスファー 10%) を固形分として 10% 含むスラリーを調整し、これに、粒径 63 μm 以下の外樹皮粉末とパラホルムアルデヒドを乾燥パルプ重量にして 10、30、50 および 70% になるように加えて良く攪拌した。パラホルムアルデヒドの量は外樹皮粉末に対して 10% とした。その後、凍結乾燥により成型用粉末とした。これを含水率約 10% に調整してから金型に入れ熱圧成型した。熱圧条件は 160°C、80 MPa、20 分間とした。得られた成型物 (直径 70 mm、厚さ 2.5 mm) について、試料を作成後、3 点曲げ試験により、常態および水中に 24 時間浸せき後の強度特性を測定した。成型物の曲げ強度特性とパルプ混合比率の関係について図 8 に示す。

図より、気乾状態では、曲げヤング率、曲げ強度共に、パルプの添加率が増えると増大することがわかる。パルプを 70% 添加した状態では、曲げヤング率は約 12 GPa に、また、曲げ強度は約 100 MPa にそれぞれ達した。これらの値は、代表的な高強度エンジニアリングプラスチックであるフェノール樹脂やポリカーボネートに匹敵する値である。しかしながら、パルプ添加率 50% 以上では、パルプの吸湿性に起因して、冷水浸漬後の弾性率、強度は大きく低下した。全体として見ると、パルプ添加率 30% 前後

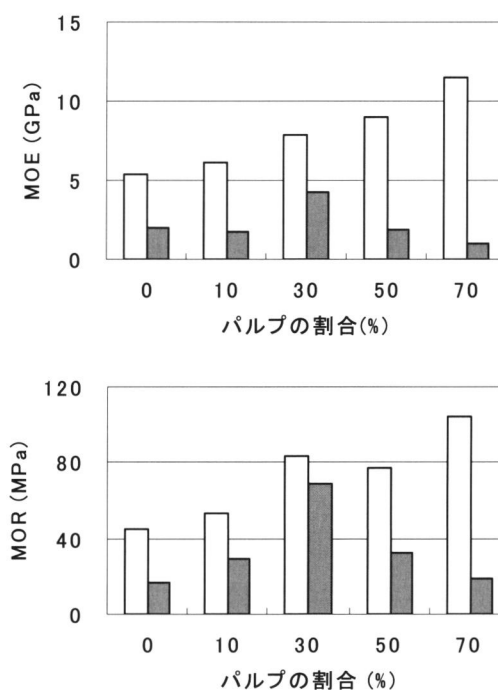


図8：樹皮粉末・パルプ成型物の強度特性
左：気乾、右：冷水浸漬

において、気乾状態ではフェノール樹脂成形体相当のヤング率、強度を有し、かつ、ある程度の耐水性を有する成型材料が製造できることがわかる。タンニンを多く含む樹皮粉末を原料として高性能成型物の製造が可能である。

9. まとめ

本研究を行った 2002 年頃には 1 バレル 20-30 ドルであった原油価格が、最近では中近東の政情不安も影響し 100 ドルを越えている。バイオリファイナリーの観点からアカシアマンギウムの利用を考えたとき、接着剤や成形材原料としてチップ材の 10-20 倍の高付加価値が期待できる樹皮タンニンは、石油代替品として、経済的観点からもその重要性を急速に増している。アカシアマンギウムの用途は現在はパルプ用材や建築用材に限られているが、今後は木部以外の利用も含めた総合的利用における重要な成分として樹皮タンニンの有効利用を考える必要があるといえる。

本研究は、主として小川が京都大学農学研究科修士課程在籍中に行った研究成果の一部をまとめたものである。また、アカシアマンギウムの伐採ならびに樹皮の採取にあたっては、インドネシア科学院バイオマテリアル研究ユニットの皆さんに大変お世話になった。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Yazaki, Y., Morita, S. and Collins, P. J., Potential use of *Acacia mangium* bark for waterproof wood adhesives, *Proceedings of the Fourth Pacific Rim Bio-Based Composites Symposium*, November 2-5, 1998, Bogor, Indonesia, 36-44.
- 2) Ogawa, S., Susanti, C. M. E. and Yano, H., Direct utilization of *Acacia mangium* bark as water proof wood adhesives, *Proceedings of the Fourth International Wood Science Symposium*, September 2-5, 2002, Serpong, Indonesia, 182-187.
- 3) Yazaki, Y. and Hillis, W. E., Molecular size distribution of *Radiata* pine bark extracts and its effect on properties, *Holzforschung*, **34**(4), 125-130, 1980.