

樹皮抽出物による天然系接着剤の製造（第8報）

製造コストの試算

高野了一*

Water Resistant Adhesives from Bark Extracts VIII.

Estimation of Production Cost

TAKANO Ryoichi*

On the supposition that the amount of processed bark was 20 dry tonnes per day, the production costs of the adhesives based on hot-water extracts from Siberian larch bark were estimated. The adhesives were formulated by mixing the hot-water extracts with each fortifiers (urea, phenol and resorcinol) at the weight ratio of 7 : 3. The results were summarized as follows :

- 1) The production costs of the adhesives formulated by mixing the hot-water extracts concentrated up to 35 % solids with urea, phenol and resorcinol were estimated to be about 140 yen/kg, 160 yen/kg, 330 yen/kg, respectively.
- 2) The direct concentration process was favorable in comparison with ultrafiltration process, because its production costs was lower from 20 % to 50 % than that of ultrafiltration process.
- 3) The production costs of adhesives were increased from 15 % to 25 % by spray drying of concentrated solution.

樹皮処理量（乾物）を20 t /日とし、シベリア産カラマツ樹皮の熱水抽出物を主原料とする接着剤の製造コストを試算した。接着剤は、抽出物と補強剤（ユリア、フェノール、レゾルシノールの各モノマー）を重量比で7 : 3に混合し調製した。その結果を要約すれば以下のとおりである。

- 1) 熱水抽出液を35%濃度に濃縮し、これに補強剤を混合した抽出物接着剤の製造コストは、一定条件のもとで、ユリア混合系で約140円/kg、フェノール混合系で約160円/kg、レゾルシノール混合系で約330円/kgとなった。
- 2) 全濃縮法は、限外濾過濃縮法に比べて、接着剤価格が20~50%低く、有利な製造法であった。
- 3) 濃縮液の乾燥粉末化には、接着剤価格として15~25%増となる。

1. はじめに

これまでシベリア産カラマツ樹皮から熱水抽出物を効率よく抽出、濃縮し、これを接着剤化する製造プロセスを確立した¹⁾²⁾。

今回は、本製造プロセスのプラントコスト及び接着剤製造コストを試算した。また、樹皮処理量と接着剤製造コストの関係も併せて求めた。

2. 製造プロセスの概要

樹皮抽出物接着剤の製造は、次の方法によった。

- ①粉砕樹皮より抽出した熱水抽出物を蒸発濃縮した後、樹脂モノマーと混合し接着剤とする。
- ②粉砕樹皮より抽出した熱水抽出物を限外濾過、蒸発濃縮した後、樹脂モノマーと混合し接着剤とする。
- ③上記の①、②の方法で製造した各濃縮液を乾燥粉末とした後、樹脂モノマーと混合し接着剤とする。

ここで、熱水抽出物を乾燥粉末にした場合は、長期保存ができる、合板等の製造工場において生産量に応じた接着剤調製が容易に行える、接着剤原料として外部販売ができる、などの利点がある。

図一1に接着剤製造フローの一例を示す。各製造工程の概略は以下のとおりである。

1) 粉砕工程

パーカー剥皮樹皮を粗砕機で長さ約5~10cmに切断後、粉砕機で約4mm以下に粉砕し、全量を抽出用原料とする。なお、粉砕機、ホッパー等から発生する微粉末は、集塵機で除去する。

2) 抽出、脱水、濾過工程

抽出は、図一1の接着剤製造フローに示す向流型抽出機で行う。本抽出機は、回転機構を有するプレートと浸漬槽より構成されており、樹皮は、仕切板で区切られたプレートの各室に充填され、ゆっくり回転しながら低部の浸漬槽にて温水で向流抽出をされながら上昇し、最後に水を振り切り機外に排出される。一方、温水は、樹皮投入口と反対方向より供給されて原料と向流し、溢流した抽出液が抽出液受槽に貯えられる。温水は、始動時は温水調整設備で調整されるが、定常運転になると、濃縮工程からのドレンを温水としてリサイクル利用する。

次に、機外に排出された樹皮は、フィルタープレスで脱水され、この脱水液は抽出液と合わせて濾過機で濾過し、濾液受槽に送られる。

本装置での抽出試験から、抽出温度90℃、抽出時間30分、液比1/5の条件で、得られる抽出液濃度は3.6%、収率(樹皮絶乾重量当たり)は14.3%とする。また抽出液と残さの分離は、フィルタープレスで行い、残さの含水率は50%とする。

3) 濃縮工程

全濃縮法と限外濾過併用法の2つの場合について試算した。全濃縮法では、圧縮機で加圧した蒸気を熱源に、濾液を35%濃度まで濃縮する。また限外濾過法では、濾液を分画分子量80000の管状型モジュールで8%濃度に濃縮後、蒸発濃縮で同じく35%濃度まで濃縮する。なお限外濾過における抽出物の収率は75%とし、膜外に排出された抽出物は洗浄廃水とともに、廃液処理槽で生物処理を行う。

ここで、濃縮液の最終濃度を35%としたのは、これに樹脂モノマー、硬化剤等を混合すれば、この操作のみで目的とする接着剤の固形分濃度が得られること、また噴霧乾燥する場合も、この濃度は抽出物の沈殿や粘度上昇が少ないため、容易に行えることによる。

4) 接着剤調製工程

混合槽に濃縮液、副原料(樹脂モノマー、硬化剤、充填剤等)を投入し、混合、溶解して接着剤とする。熱水抽出物とユリア、フェノール、レゾルシノールの各モノマーの混合割合は、固形分比で7:3とする。

5) 乾燥工程

濃縮液をスプレードライヤーで噴霧乾燥した粉末は、20kg袋詰とする。

3. コスト試算

3.1 プラントコストの試算

以下の条件を設定し、各製造プロセスのプラントコストを試算した。

1) 樹皮処理量

県内では、年間約40万m³のシベリア産カラマツが入荷し、樹皮率10%、樹皮絶乾比重0.45とすれば、樹皮発生量は、年間約18000tと推定される。

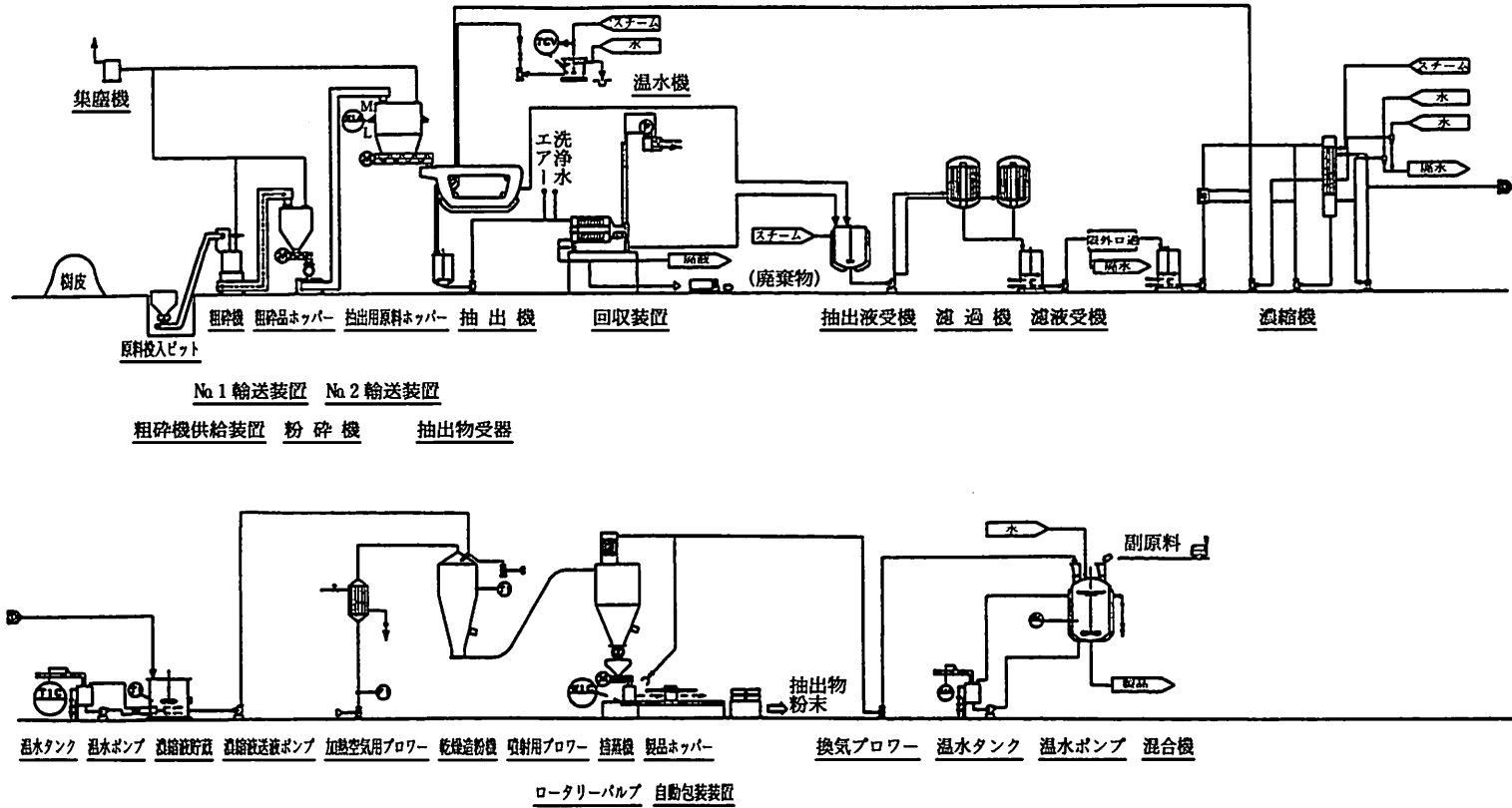


図-1 樹皮抽出物接着剤の製造フロー

ここでは、その1/3に当たる6000 tを接着剤原料に利用することを想定し、樹皮処理量は、年間300日稼働で20 t/日、生樹皮換算（水分50%）で40 t/日とした。

2) 稼働条件

1日24時間連続運転で、年間300日稼働とした。

3) コスト試算の範囲

機器、据付工事、配管工事、電気計装工事、保温、塗装、廃水処理設備は、コスト試算の範囲内とした。

プラントコストは、設備費用の約50%を機器類が占めると推定し、機器コストの2倍とした。

4) コスト試算の範囲外

工場の敷地、建物、ユーティリティ（電気、蒸気、工業用水等）の一次側までの供給、輸送車両（トラック等）はコスト試算の範囲外とした。

3.2 接着剤製造コストの試算

次の方法³⁾により求めた。

$$\text{製造コスト} = \text{原料費} + \text{用役費} + \text{固定設備費} + \text{廃液処理費} + \text{人件費}$$

1) 原料費

樹皮は、無料とし、抽出残さの処理費用は除外した。工業原料は、化学商品（化学工業日報社発行、1990年度）等に記載されている価額を基準にした。

2) 用役費

富山県内の一般的な化学工場の購入単価を想定し、工業用水33円/t、電気20円/KWH、蒸気7000円/tとした。

3) 固定設備費

次のように求めた。

$$\begin{aligned} \text{固定設備費} &= I \times (d + i + te + z + Rp) \\ &= 0.262I \end{aligned}$$

I：プラントコスト

d：原価償却率、耐用年数7年として

$$\begin{aligned} d &= 0.08 / \{(1 + 0.08)^7 - 1\} \\ &= 0.112 \end{aligned}$$

i：金利、Iの8%

te：固定資産税、Iの2%

z：保険、Iの2%

Rp：メンテナンス費用、Iの3%

4) 廃液処理費

洗浄廃水、限外濾過の透過液を処理する薬剤費、汚泥の処理等の費用とした。

5) 人件費

24時間連続運転であることから、4直3交替に日勤者を加えた要員とした。すなわち、交替勤務者2人/直×4直=8人、日勤者2人、計10人とした。

3.3 樹皮処理量と接着剤製造コストの関係

樹皮処理量に対して、原料費、用役費、廃液処理費は等倍に比例、固定設備費は0.7乗則に比例、人件費は変動しないものとし、樹皮処理量20 t/日をベースに、処理量を2倍、3倍とした場合の接着剤製造コストを求めた。

4. 結果と考察

4.1 マスバランス

全濃縮法及び限外濾過併用法による樹皮抽出物接着剤製造のマスバランスを求めた。

ここでは、一例として、全濃縮法について、レゾルシノールを混合した抽出物接着剤の結果を図-2に示す。まず粉碎、抽出工程においては、樹皮20 t/日から3.6%濃度の熱水抽出液約80 t（熱水抽出物2.88 t、水77.15 t）が得られる。ついで、この熱水抽出液を35%濃度に濃縮、レゾルシノールと固形分比で7：3の割合で混合し、50%濃度の接着剤10.78 t/日を得る。また、35%濃度の濃縮液を噴霧乾燥した抽出物粉末を原料に用いた場合も同量の接着剤が得られる。

一方、限外濾過併用法では、抽出物の25%が透過液として系外に排出されるため、得られる熱水抽出物は2.16 tで、接着剤量も8.09 t/日と全濃縮法に比べて少なかった。

なお、ユリア及びフェノール混合系接着剤のマスバランスは割愛したが、得られる接着剤量は、前者の場合は、全濃縮法で11.53 t/日、限外濾過併用法で8.65 t/日、後者の場合は、全濃縮法で12.75 t/日、限外濾過併用法で9.58 t/日であった。

4.2 プラントコスト

全濃縮法及び限外濾過併用法の各プラントコストを表-1に示す。なお、プラントコスト算出の資料は紙面の都合で割愛した。

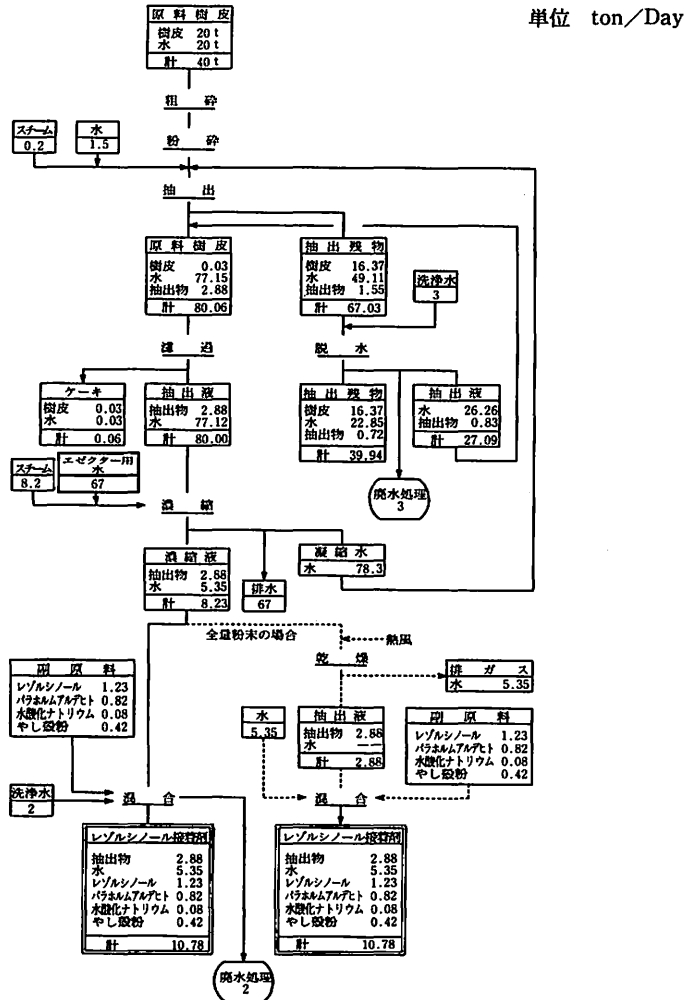
表-1より、全濃縮法の方が限外濾過併用法より

表一 プラントコストの試算

(単位：千円)

製造工程	全濃縮法	限外濾過併用法	主要設備の仕様
粉 砕	53,800	53,800	原料投入ピット20m ³ 、粗砕機 2 t/Hr、粉碎機 5 t/Hr
抽 出	96,600	96,600	原料ホッパー20m ³ 、向流型抽出装置、温水槽10m ³
脱 水	90,600	90,600	フィルタープレス135m ² 、液受槽 4 m ³
濾 過	22,000	22,000	リーフフィルター 2 基3.5m ³ /Hr、液受槽 8 m ³
限外濾過	—	38,600	限外濾過装置336 本
蒸発濃縮	242,600	105,000	濃縮機 (多管式) 2 基φ1400×9500、液受槽 8 m ³
乾 燥	400,300	400,300	スプレッドライヤー、製品ホッパー10m ³ 、自動包装機
調 合	38,200	35,600	調合槽 2 m ³ 、温水ポンプ、秤
廃水処理	47,500	321,000	槽類、ポンプ、脱水機
合 計	991,600 (591,300*)	1,163,500 (763,200*)	

*乾燥工程を除く



図一 全濃縮法によるレゾルシノール混合系接着剤のマスバランス

表一 2 ユリア混合系接着剤の製造原価計算書

項 目	全 濃 縮 法				限 外 濃 過 併 用 法			
	濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化		濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化	
	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)
原料費								
ユリア	370 t	60 22,200	370 t	60 22,200	278 t	60 16,680	278 t	60 16,680
パラホルム	370 t	230 85,100	370 t	230 85,100	278 t	230 63,940	278 t	230 63,940
やし殻粉	123 t	600 73,800	123 t	600 73,800	93 t	600 55,800	93 t	600 55,800
小 計		181,100		181,100		136,420		136,420
用役費								
工業用水	27,492 t	33 907	29,220 t	33 964	27,780 t	33 917	30,075 t	33 992
電 気	1345680KWH	20 26,914	1505000KWH	20 30,100	1001000KWH	20 20,020	1129000KWH	20 22,580
蒸 気	3,541 t	7,000 24,787	8,581 t	7,000 60,067	2,662 t	7,000 18,634	7,974 t	7,000 55,818
小 計		52,608		91,131		39,571		79,390
固定設備費	591,300,000×0.262	154,921	991,600,000×0.262	259,799	763,200,000×0.262	199,958	1,163,500,000×0.262	304,837
廃液処理費		1,142		1,142		62,102		62,102
人 件 費	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000
合 計		469,764		613,172		518,051		662,749

表一 3 フェノール混合系接着剤の製造原価計算書

項 目	全 濃 縮 法				限 外 濃 過 併 用 法			
	濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化		濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化	
	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)
原料費								
フェノール	370 t	250 92,500	370 t	250 92,500	278 t	250 69,500	278 t	250 69,500
パラホルム	494 t	230 113,620	494 t	230 113,620	370 t	230 85,100	370 t	230 85,100
NaOH	123 t	90 11,070	123 t	90 11,070	93 t	90 8,370	93 t	90 8,370
やし殻粉	123 t	600 73,800	123 t	600 73,800	93 t	600 55,800	93 t	600 55,800
小 計		290,990		290,990		218,770		218,770
用役費								
工業用水	27,492 t	33 907	29,220 t	33 964	28,780 t	33 950	30,075 t	33 992
電 気	1345680KWH	20 26,914	1505000KWH	20 30,100	1001000KWH	20 20,020	1129000KWH	20 22,580
蒸 気	3,541 t	7,000 24,787	8,581 t	7,000 60,067	4,164 t	7,000 29,148	7,974 t	7,000 55,818
小 計		52,608		91,131		50,118		79,390
固定設備費	591,300,000×0.262	154,921	991,600,000×0.262	259,799	763,200,000×0.262	199,958	1,163,500,000×0.262	304,837
廃液処理費		1,261		1,261		62,218		62,218
人 件 費	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000
合 計		579,780		723,181		611,004		745,215

表一 4 レゾルシノール混合系接着剤の製造原価計算書

項 目	全 濃 縮 法				限 外 濾 過 併 用 法			
	濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化		濃縮液を接着剤化		抽出物粉末を接着剤化	
	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)	使用量	単 価 年間金額 (円) (千円)
原料費								
レゾルシノール	370 t	1,750 647,500	370 t	1,750 647,500	278 t	1,750 486,500	278 t	1,750 486,500
パラホルム	248 t	230 57,040	248 t	230 57,040	185 t	230 42,550	185 t	230 42,550
NaOH	25 t	90 2,250	25 t	90 2,250	19 t	90 1,710	19 t	90 1,710
やし炭粉	124 t	600 74,400	124 t	600 74,400	93 t	600 55,800	93 t	600 55,800
小 計		781,190		781,190		586,560		586,560
用役費								
工業用水	27,492 t	33 907	29,220 t	33 964	28,780 t	33 950	30,075 t	33 992
電 気	1345680KWH	20 26,914	1505000KWH	20 30,100	1001000KWH	20 20,020	1129000KWH	20 22,580
蒸 気	3,541 t	7,000 24,787	8,581 t	7,000 60,067	4,164 t	7,000 29,148	7,974 t	7,000 55,818
小 計		52,608		91,131		50,118		79,390
固定設備費	591,300,000×0.262	154,921	991,600,000×0.262	259,799	763,200,000×0.262	199,958	1,163,500,000×0.262	304,837
廃液処理費		1,441		1,441		62,393		62,393
人 件 費	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000	8,000,000×10	80,000
合 計		1,070,159		1,213,561		979,029		1,113,180

プラントコストは安い。限外濾過併用法は、全濃縮法に比べて濃縮に要する設備費は安いですが、抽出物の一部が膜より透過し、これを処理する廃水処理設備費を加えると、プラントコストは高くなる。

また、いずれの方法も接着剤原料として乾燥粉末より濃縮液を用いる方が、乾燥設備が不要なためプラントコストは約35～40%安い。

4.3 接着剤製造コスト

樹皮抽出物接着剤の製造コスト試算結果を表一 2～4 に、製品 1 kg 当りに換算した製造コストを表一 5～7 に示す。これよりユリア混合系接着剤は 135～255円/kg、フェノール混合系接着剤は 151～260円/kg、レゾルシノール混合系接着剤は 331～459円/kg となった。全濃縮法と限外濾過併用法を比較すれば、全濃縮法の方が接着剤製造コストは 20～50%低かった。また、濃縮液の乾燥粉末化には、接着剤価格として約15～25%増となった。

本研究におけるユリア、フェノール、レゾルシノール混合系接着剤は、性能面においてユリア樹脂、フェノール樹脂、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤と各々匹敵する。これら接着剤の市販

価格は、ユリア樹脂接着剤約160円/kg、フェノール樹脂接着剤約300円/kg、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤約1000円/kg である。一般に行われているように、接着剤総生産費の約16%を販売・管理費³⁾とすれば、ユリア樹脂、フェノール樹脂、フェノール・レゾルシノール共縮合樹脂接着剤の製造原価は各々134円/kg、252円/kg、840円/kg 程度と推定される。これらの価格と比較すると抽出物を主原料とするフェノール混合系及びレゾルシノール混合系接着剤は安価であり、特に高価なレゾルシノール混合系接着剤で価格面の優位性が著しく、樹皮を原料に自家生産の方が有利と思われる。

また表一 8 に示すように、樹皮処理量を増加すれば、原価に占める固定設備費、人件費の割合が小さくなるので、接着剤価格は低下し、ユリア混合系接着剤においても市販品と競合できる価格が期待できる。

さらに、現状では、樹皮の大部分は、約1000円/m³ (樹皮絶乾かさ比重125kg/m³として約8000円/t) で廃棄処分されており、この処理費を差し引くと、樹皮処理量20 t/日規模の接着剤価格は、ユリア混合

表—5 ユリア混合系接着剤の製造原価

(単位：円/kg)

項 目	全 濃 縮 法		限 外 濾 過 併 用 法	
	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化
製品量(t/年)	3,456	3,456	2,592	2,592
原 料 費	52.4 (38.6)	52.4 (29.5)	52.6 (26.3)	52.6 (20.6)
用 役 費	15.2 (11.2)	26.4 (14.9)	15.3 (7.6)	30.6 (12.0)
固定設備費	44.8 (33.0)	75.2 (42.4)	77.1 (38.6)	117.6 (46.0)
廃液処理費	0.3 (0.2)	0.3 (0.2)	24.0 (12.0)	24.0 (9.4)
人 件 費	23.1 (17.0)	23.1 (13.0)	30.9 (15.5)	30.9 (12.1)
原 価	135.8 (100.0)	177.4 (100.0)	199.9 (100.0)	255.7 (100.0)

() は対製造コスト比、%

表—6 フェノール混合系接着剤の製造原価

(単位：円/kg)

項 目	全 濃 縮 法		限 外 濾 過 併 用 法	
	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化
製品量(t/年)	3,826	3,826	2,870	2,870
原 料 費	76.0 (50.2)	76.1 (40.2)	76.2 (35.8)	76.2 (29.4)
用 役 費	13.7 (9.0)	23.8 (12.6)	17.5 (8.2)	27.7 (10.7)
固定設備費	40.5 (26.8)	67.9 (35.9)	69.7 (32.7)	106.2 (40.9)
廃液処理費	0.3 (0.2)	0.3 (0.2)	21.7 (10.2)	21.7 (8.3)
人 件 費	20.9 (13.8)	20.9 (11.1)	28.0 (13.1)	27.9 (10.7)
原 価	151.4 (100.0)	189.0 (100.0)	213.0 (100.0)	259.7 (100.0)

() は対製造コスト比、%

表—7 レゾルシノール混合系接着剤の製造原価

(単位：円/kg)

項 目	全 濃 縮 法		限 外 濾 過 併 用 法	
	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化	濃縮液を接着剤化	抽出物粉末を接着剤化
製品量(t/年)	3,234	3,234	2,425	2,425
原 料 費	241.6 (73.0)	241.6 (64.4)	241.9 (59.9)	241.9 (52.7)
用 役 費	16.3 (4.9)	28.2 (7.5)	20.7 (5.1)	32.7 (7.1)
固定設備費	47.9 (14.5)	80.3 (21.4)	82.5 (20.4)	125.7 (27.4)
廃液処理費	0.4 (0.1)	0.4 (0.1)	25.7 (6.4)	25.7 (5.6)
人 件 費	24.7 (7.5)	24.7 (6.6)	33.0 (8.2)	33.0 (7.2)
原 価	330.9 (100.0)	375.3 (100.0)	403.7 (100.0)	459.0 (100.0)

() は対製造コスト比、%

表一 8 樹皮処理量と接着剤製造コストの関係
(単位：円/kg)

接 着 剤	樹皮処理量 (t/年)		
	20	40	60
ユリア混合系	136	116	108
フェノール混合系	151	133	126
レゾルシノール混合系	330	309	301

注) 接着剤製造法：全濃縮法、濃縮液を接着剤化

系で13～19円/kg, フェノール混合系で12～17円/kg, レゾルシノール混合系で15～20円/kg 低下する。

謝 辞

樹皮抽出物接着剤のコスト試算にご協力いただいた富山県エンジニアリング協会に感謝申し上げます。

文

- 1) 高野了一：シベリア産カラマツ樹皮抽出物を利用した木材用接着剤の製造, 富山木材試研究報告, No 2, 1-30 (1987)
- 2) 高野了一：針葉樹樹皮フェノール性抽出物を利用した常温硬化型接着剤の製造, 富山林技セ研

献

- 1) 高野了一：シベリア産カラマツ樹皮抽出物を利用した木材用接着剤の製造, 富山木材試研究報告, No 5, 50-58 (1991)
- 3) 窪田実：カラマツ樹皮抽出物を利用した木材用耐水性接着剤の製造に関する研究, 林産試研究報告, 第79号, 93-103 (1988)