

JAERI-M

6784

放射線同時照射気相グラフト重合法による  
ブタジエングラフトポリ塩化ビニルの製造  
におけるコストの推算

1976年11月

吉田健三・荒木邦夫

この報告書は、日本原子力研究所が JAERI-M レポートとして、不定期に刊行している研究報告書です。入手、複製などのお問い合わせは、日本原子力研究所技術情報部（茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。

JAERI-M reports, issued irregularly, describe the results of research works carried out in JAERI. Inquiries about the availability of reports and their reproduction should be addressed to Division of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, Japan.

放射線同時照射気相グラフト重合法による  
ブタジエングラフトポリ塩化ビニルの製造  
におけるコストの推算

日本原子力研究所高崎研究所  
開発試験場

吉田 健三・荒木 邦夫

(1976年10月19日受理)

グラフト重合物の連続製造法の確立を目的として建設したパイロットプラントにより作られた改質ポリ塩化ビニル樹脂が、競合品のABS, ACS, 塩素化ポリエチレンなどの耐衝撃改良剤を配合した粉末状ポリ塩化ビニル(PVC)に比較して非常にすぐれた耐衝撃性を示したので、製造コストを計算し競合品と比較した。

コスト計算は昭和43年に建設されたパイロットプラントの価格を基礎にせずに行い、さらに規模を10倍に想定したプラントについて推算を行った。推算にはおもにLang-Chiltonの方法を用いてプラントの建設費を求め、次にWinterの方法によって運転経費、間接費などを計算して最終的な製造コストを求めた。同時に競合品であるABSなどの製造コストについても計算した。

計算の結果、パイロットプラントと同じ規模のプラントにより、毎時50kgポリ塩化ビニルを照射してグラフト反応を行い、年間5,760時間運転するものと仮定すると、グラフト率8%の改質ポリ塩化ビニルの製造コストは185円/kgとなった。また、その10倍にスケールアップしたプラントで生産する場合には115円/kgとなり大巾に価格は低減される。しかし、ABSをブレンドした耐衝撃性PVC樹脂の昭和43年に換算した価格の107円/kgに比べるとやや高いのでこの状況での工業化はむずかしい。

グラフト率を5%に止めると生産量は1.5倍に上昇する。このとき当然耐衝撃性の低下が起るが、この5%グラフトPVCにポリエチレンを約5PHRブレンドすることにより耐衝撃性はふたたび向上し $90\text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$ になることがわかった。この方法によれば耐衝撃PVCの製造コストは105円/kgになり、競合品よりも若干安価となる。

Cost Estimation of Butadiene-Grafted Polyvinyl Chloride Produced  
by Gas Phase Radiation-Induced Graft Polymerization

Kenzo YOSHIDA and Kunio ARAKI

Pilot Scale Research Station, Takasaki, JAERI

(Received October 19, 1976)

Butadiene gas in contact with polyvinyl chloride (PVC) powder is easily graft-polymerized onto PVC by Co-60 gamma irradiation. The product polymer has a high impact strength comparable with that of blended PVC and a modifier (ABS, MBS, chlorinated polyethylene, etc.) If the cost can be reduced to that of commercial high impact PVCs, the process will be feasible in industry.

The pilot plant for continuous production of the graft polymer was constructed, and has been operated for some years. Its production cost has been estimated for the pilot plant and the conceptual commercial plant scaled up tenfold, on the base of construction cost of the pilot plant in 1968.

Construction cost of the latter plant is estimated by Lang-Chilton's method. Operational costs and indirect costs are calculated by Winter's method on the basis of the construction costs. Final cost of the polymer is the sum of these costs and the material cost. Cost of the blended PVC and modifier is also estimated for comparison.

The costs by the pilot plant and by the commercial plant are 185 yen/kg and 115 yen/kg of the polymer, respectively. The cost of PVC modified with ABS resin is 107 yen/kg on average. Further reduction of the cost is thus necessary to be competitive with the conventional high impact PVC.

It was found that low impact resistance of the polymer with lower graft ratio can largely increased by addition of polyethylene. In that case, capacity of the plant can be raised. Consequently, the estimated cost of the graft PVC mixed with polyethylene is 105 yen/kg.

## 目 次

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 1     | 序 論                           | 1  |
| 2     | プロセスの概要                       | 2  |
| 2.1   | プロセスの概要                       | 2  |
| 2.2   | プロセスの主要機器                     | 2  |
| 2.3   | プロセスに使用する原料                   | 3  |
| 3     | パイロットプラントの建設コスト               | 4  |
| 4     | Winter 法による推算                 | 5  |
| 4.1   | Winter法                       | 5  |
| 4.2   | Winter 法による推算                 | 7  |
| 4.2.1 | 固定資本費                         | 7  |
| 4.2.2 | 生産能力                          | 7  |
| 4.2.3 | 製造コスト                         | 7  |
| 5     | 10倍スケールアップしたプラントによる製造コストの推算   | 12 |
| 5.1   | 固定資本費の推算法                     | 12 |
| 5.2   | 固定資本費の推算結果                    | 12 |
| 5.3   | 製造コストの推算                      | 17 |
| 6     | 競合品との比較                       | 20 |
| 6.1   | 性能面での比較                       | 20 |
| 6.2   | コスト面での比較                      | 22 |
| 7     | ポリエチレンのブレンドによる放射線改質PVCのコストの低減 | 24 |
| 7.1   | 改質PVCにポリエチレンをブレンドしたときの物性の効果   | 24 |
| 7.2   | ポリエチレンブレンド系のコスト               | 25 |
| 8     | 結 論                           | 26 |
| 9     | 参考文献                          | 26 |

# 1 序 論

ポリ塩化ビニルにブタジエンを放射線グラフト共重合する反応の中間規模試験は昭和40年度以降、高崎研究所第4開発室において進められてきた。この反応は粉末状ポリ塩化ビニル樹脂中にガス状のブタジエンを流通させつつコバルト60の $\gamma$ 線を照射してグラフト重合を行わせるもので、得られた製品は非常に優れた耐衝撃性を有している。原料としての市販のポリ塩化ビニル樹脂とブタジエンは精製することなしにそのまま使用することができる。また気相グラフト共重合法を採用しているため、ホモポリマーの副生がごく少量で、製品は精製、分離の工程を経ることなく、そのまま成型加工に供することができる。さらに、反応に使用するポリ塩化ビニル粉末にあらかじめ窒素を導入し、酸素と置換しておくこと、脱気の必要が無いという特色を持つ。

このように、プロセスが非常に簡単なため加工コストは低くなると思われる。したがって製品の物性が優れていれば現在耐衝撃性ポリ塩化ビニルとして使用されているPVC-ABS、PVC-塩素化ポリエチレン系などに対し、コスト的に充分対抗できるものと推定される。

昭和43年3月に本プロセスのパイロットプラントが建設され(処理能力、20~50kg/hr)今日まで数回の改造をへて順調に運転されてきた。昭和47年8月現在までに、82回の運転が行なわれ、所期の目的である放射線を用いた粉体プロセスの連続化、実用物性測定用大量サンプルの製造、攪拌移動層型反応機の改良とエンジニアリングデータの蓄積などが達成された。この段階で製造コストの推算を行ない、競合品との比較を行なうことは大切なことと思われる。

コストの算出には通常フローシートにもとずき、各機器の価格を求めて、まずこれの総和をだし、この値を基準にして種々のファクターを乗じて、固定費、間接費を求めてゆく方法がとられている。よく用いられる方法にLang-Chilton法<sup>1) 2)</sup>、Cost Factor法<sup>3)</sup>、New Monsanto法<sup>4)</sup>、Module法<sup>5)</sup>などがある。われわれの場合にはすでにパイロットプラント建設の費用が正確にわかっているため、この値を基準にし、前述の方法を簡略化して使用した。研究の初期段階での経済評価に適するように、改良されたO. Winterの方法<sup>6)</sup>を選び、本パイロットと同じスケールのプラントを建設し、これを連続運転したときの製造コストの推算を行なったので、それについて報告する。

ついで本パイロットプラントの生産能力を10倍にスケールアップした場合を想定し、主としてLang-Chilton法によって固定資本コストを計算し、スケールアップの効果をみることにする。現在耐衝撃PVCの生産量はたかだか10万トン/年程度と推定されるので、この10倍スケールアッププラント(年産3000トン)は生産用プラントとして通用するスケールと考えられる。なお推算の基準として用いた数値は昭和43年度現在の値である。

## 2 プロセスの概要

### 2.1 プロセスの概要

コスト推算のもとになる本プロセスの概要について述べる。Fig.1 に本プロセスのブロックダイアグラムを示す。配合では耐候性改良剤として添加するモノマー，および攪拌動力低減用の滑剤をブレンドする。脱気は反応後吸着している未反応ブタジエンを取り除くためである。本パイロットでは往復動力型真空ポンプによって真空脱気を行なっている。

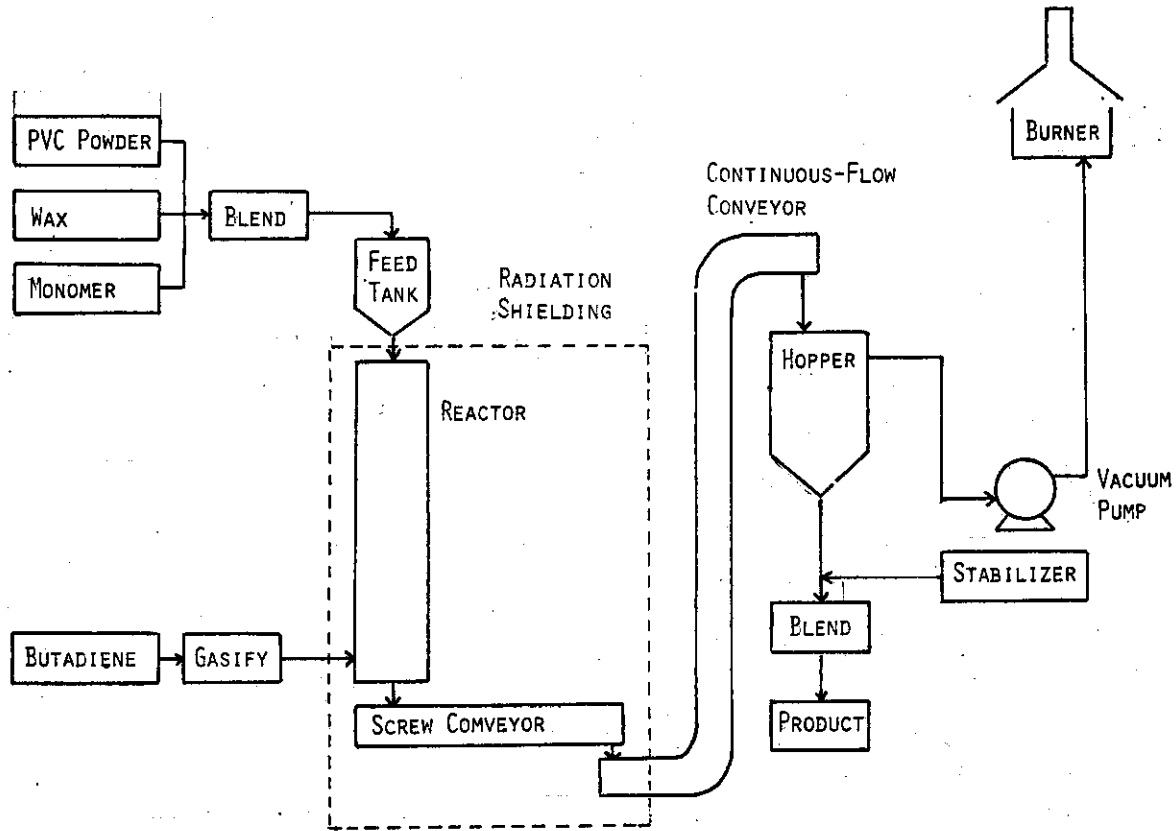


Fig. 1 Block diagram of pilot plant for PVC modification

反応機はこのプロセスのため特に開発した攪拌移動層型で詳細はすでに報告<sup>7), 8)</sup>した。輸送用コンベアには照射室内の水平輸送にスクリーコンベア，照射室からは製品ホッパー（脱気槽を兼ねる）への水平・垂直輸送にケースコンベアを使用している。照射室は鉄骨組みの枠の中に酸化鉄鉱石を充填したもので，安価であり実用性は高い<sup>9)</sup>。

### 2.2 プロセスの主要機器

つきに本プロセスを構成する主要機器の仕様について述べる。

#### (1) 反応機

##### 攪拌移動層型

反応部長さ2 m，外径40 cm，内径20 cmの環状部を反応に使用する。

内部線源方式，攪拌軸の中にコバルト60線源を収納する。

攪拌用電動機 7.5 KW

定量排出機構，テーブルフィーダ式

処理能力 最大 50kg/h

(2) コンベア (水平輸送用)

長さ 4 m, 直径 165 mm, 型式, スクリュー

輸送能力 200kg/h r

(3) コンベア (垂直輸送用)

形式, ケースコンベア

輸送高さ, 5 m

輸送能力, 200kg/h

(4) 製品貯槽 (脱気槽を兼ねる)

容量 600kg PVC

クリーナ付, のぞき窓付

レベルゲージ (トルク式)

(5) 供給槽

容量 100kg

(6) 真空ポンプ

往復動力型

排気速度  $1\text{m}^3/\text{min}$

(7) 焼却炉

能力  $1\sim 2\text{m}^3/\text{h}$

ガスホルダー 容量  $1\text{m}^3$

(8) ミキサー

容量 30kg/バッチ

(9) 照射室

鉄骨組み, 磁鉄鉱石充填

(10) 線源

コバルト 60, 2000~6000キュリー

### 2.3 プロセスに使用する原料

本プロセスに使用する原材料はつぎのようなものである。

(1) ポリ塩化ビニル樹脂

チッソ (株) 製 ニポリット S L

重合度 1000

粒度 60メツシュ 100%通過

200メツシュ通過 1%以下

見掛密度 0.53

(2) ブタジエン

東燃油化 (株) 製

純度 99.7% 以上



## (3) モノマー

耐候性の向上をはかる目的で市販のアクリル酸エステルを2 PHR ( Parts Per Hundred Resin ) 程度配合する。

## (4) 滑 剤

粉体攪拌のさいの所要動力を減ずるために使用する。ステアリン酸金属塩を0.1 PHR 加える。

## (5) 安定剤

製品の酸化劣化防止のため、ゴム用の老化防止剤を加える。本プロセスではノクラック 16200 ( 大内新興化学製 ) を0.05 PHR 配合する。

## 3 パイロットプラントの建設コスト

本パイロットプラントの建設費は数回の改造をしており、その工事の一部には重複するところもあるが、最終建設費の内訳を Table 1 に示す。また発注は昭和42～43年に行なっているので現在の時点ではかなり上昇していると思われるが、物価指数が不明なので昭和43年を基準とし補正は行なわない。

Table 1 Cost of Pilot Plant for PVC Modification

|                      | Item   | Cost ( 10 <sup>6</sup> yen) |
|----------------------|--|-----------------------------|
| Pilot Plant          | Process Unit Equipment (Reactor, Pumps, Vessels, Conveyors, ..)    | 10.9                        |
|                      | Process Control (Temp. Recorder Level Gauge, Flowmeter, Panel, ..) | 3.1                         |
|                      | Electrical   | 1.3                         |
|                      | Piping   | 1.6                         |
|                      | Setting and Test   | 3.7                         |
|                      | Design   | 1.9                         |
|                      | Total  | 22.5                        |
| Radiation Facilities | Radiation Shielding  | 6.0                         |
|                      | Operating Device of Cobalt Source                                  | 4.0                         |
|                      | Radiation Source   | 1.5                         |
|                      | Total  | 11.5                        |

## (3) モノマー

耐候性の向上をはかる目的で市販のアクリル酸エステルを2 PHR (Parts Per Hundred Resin) 程度配合する。

## (4) 滑 剤

粉体攪拌のさいの所要動力を減ずるために使用する。ステアリン酸金属塩を0.1 PHR 加える。

## (5) 安定剤

製品の酸化劣化防止のため、ゴム用の老化防止剤を加える。本プロセスではノクラック 46200 (大内新興化学製) を0.05 PHR 配合する。

## 3 パイロットプラントの建設コスト

本パイロットプラントの建設費は数回の改造をしており、その工事の一部には重複するところもあるが、最終建設費の内訳を Table 1 に示す。また発注は昭和42～43年に行なっているので現在の時点ではかなり上昇していると思われるが、物価指数が不明なので昭和43年を基準とし補正は行なわない。

Table 1 Cost of Pilot Plant for PVC Modification

|                         | Item   | Cost (10 <sup>6</sup> yen) |
|-------------------------|--|----------------------------|
| Pilot<br>Plant          | Process Unit Equipment (Reactor, Pumps, Vessels, Conveyors, ..)    | 10.9                       |
|                         | Process Control (Temp. Recorder Level Gauge, Flowmeter, Panel, ..) | 3.1                        |
|                         | Electrical   | 1.3                        |
|                         | Piping   | 1.6                        |
|                         | Setting and Test   | 3.7                        |
|                         | Design   | 1.9                        |
|                         | Total  | 22.5                       |
| Radiation<br>Facilities | Radiation Shielding  | 6.0                        |
|                         | Operating Device of Cobalt Source                                  | 4.0                        |
|                         | Radiation Source   | 1.5                        |
|                         | Total  | 11.5                       |

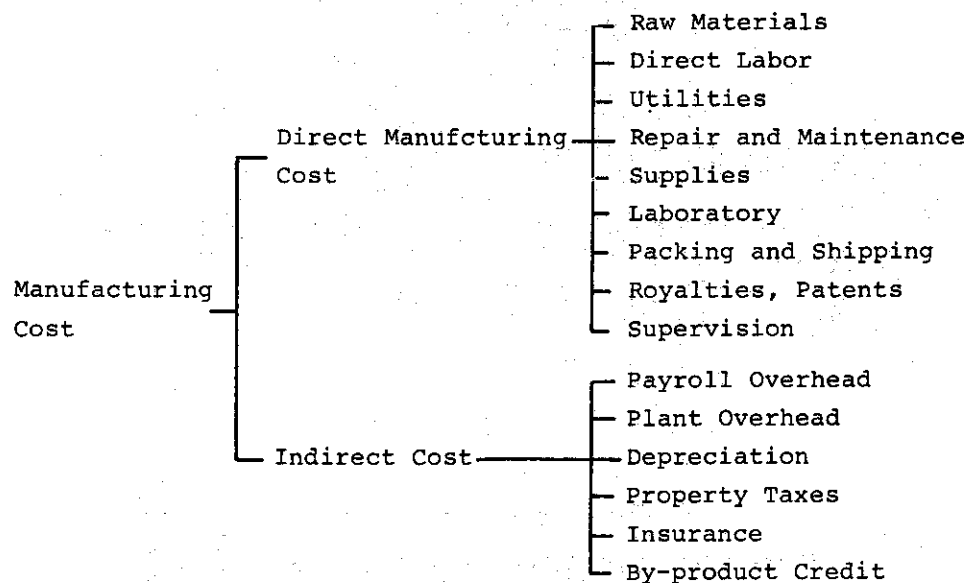
## 4 Winter<sup>6)</sup> 法による推算

### 4.1 Winter 法

0. Winter は製造コストを Table 2 のように解析している。

この表は日本でよく使われる原価構成表と若干異なっている。経済性の評価にはまず Capital Cost (資本費) を求め、これを基準にして、第 2 表の各項目を推算して製造コストを出す。これをもとに販売価格を概算し、在来法との比較から評価を行なう。

Table 2 Manufacturing Cost Table



推算の基準になる資本費は二つに分けられる。

#### (1) Fixed Capital Cost (固定資本費)

装置、配管、計装、建物などの建設費である。コスト積算の最も重要な部分で、これが正確に推算できればコスト計算の 90% は終りといってよい。さきに述べた Lang-Chilton 法などはこれを求めるための推算法である。幸い本パイロットプラントでは建設費用がかなり正確にわかっているのでこれを使用することにする。(Table 1)

#### (2) Running Capital Cost (運転資本費)

運転に必要な資本費のことで、通常 1 ヶ月分の運転に必要な原料、予備部品および製品在庫などが含まれる。

金額としては固定資本費の 10~15% になることが多い。

資本費がきまれば Table 2 にしたがって製造費の計算が始まる。

#### (3) Raw Materials (原料費)

文字通り製造に用いる原料費である。

#### (4) Direct Labor (直接労務費)

直接製造にかかわる人件費である。全製造費に占める比率は 15% 以下のことが多い。

## (5) Utilities (ユーティリティ)

蒸気, ガス, 電気, 水などの費用で製品ポンド当り 0.1 ~ 1 セントの範囲に入る。

## (6) Repair and Maintenance (保全費)

修理および保守のための資材および労力の費用で, 工場で得られたデータによれば, 特に厳しい条件で運転しないかぎり, それぞれにつき, 資本費の 2% ずつ見積れば十分である。

## (7) Supplies (予備部品費)

資本費の 0.5 ~ 1%, または年間の保全費の 15%。

## (8) Laboratory (検査費)

プロセスおよび品質管理のための実験費で, 直接労務費の 20% が妥当な額である。

## (9) Packing and Shipping (包装, 輸送費)

製品のかたちにより変わってくるが, 標準として製品トン当り 1 ドルとみればよい。

## (10) Patents and Royalties (特許費)

特許を導入費用や, ノウハウ購入費などが入る。普通は製品の販売価格の 1 ~ 5%。

## (11) Supervision (監督費)

生産を直接監督する責任者の費用である。プロセスの難易によって異なるが, 標準は労務費の 10 ~ 25% である。

## (12) Payroll overhead (間接労務費)

人件費以外に年金, 各種保険などの費用である。

Productive Labor ((4)+(6)+(11)) の 22% に相当する。

## (13) Plant overhead (プラント予備費)

これは間接的にプラントの運転維持費に必要な部門の費用で, 例えばレクリエーション設備, 病院, 道路, 下水の維持などにかかるものである。Productive Labor の 50% をみればよい。

## (14) Depreciation (償却費)

色々なやり方がある。税法上は定率償却が有利であるが, コスト推算には単純な定額償却法がよく用いられる。これは毎年の償却額を  $D$ ,  $n$  を装置の使用年限,  $C_0$  を初期コスト,  $C_e$  を償却完了時の残存価格とすれば

$$D = \frac{C_0 - C_e}{n}$$

で償却を行なうものである。

## (15) Property Taxes (固定資産税)

地方税を含めて帳簿価格の 2%。10 年の定額償却を行なうとすれば資産価格の 1% になる。

## (16) Insurance (保険料)

帳簿価格の 2%, 上と同じ償却を行なえば 1% になる。

## (17) By-Product Credit (副生品収入)

副生品が生ずる場合はその分だけ製造コストから差し引ける。

## 4.2 Winter 法による推算

### 4.2.1 固定資本費（全プラント建設費）

前章 Table 1 にパイロット建設費を示しておいた。

実際にプラントを別に作るのであれば、現在使用している研究所の施設も新設しなければならない。建家、電気サービス装置などがこれに当る。Lang<sup>1)</sup>はプラントのコストを解析して Table 3 のように表わした。これによればプラントコストのうち機器、配管のしめる割合は 0.5 ~ 0.6（これが Table 1 の建設費に当る）の範囲にある。

本プラントでは照射施設がこれに加わっているため、この比率は高めになっていると推定されるので、上限の 0.6 をとる。

$$\text{全プラント建設費（建屋などを含む）} = \frac{3400 \text{ 万円}}{0.6} = 5667 \text{ 万円}$$

となる。

運転資本の推算はパイロットプラント・スケールでは重要でないので省略する。

### 4.2.2 生産能力

当パイロットプラントはポリ塩化ビニル 50kg/hr の処理能力がある。1日 24時間運転で月 20日間運転すると、年間の処理量は、

$$24 \text{ 時間/日} \times 20 \text{ 日/月} \times 12 \text{ 月} \times 50 \text{ kg/時} = 288 \text{ トン/年}$$

となる。

製品のグラフト率は 8%，これに 0.05 PHR の安定剤が配合されるから年生産量は

$$288 \times \frac{108}{100} + 288 \times \frac{0.05}{100} = 311.2 \text{ トン/年}$$

となる。

なお放射線源は初め 5000 キュリーを用いる。コバルト線源は毎年約 1000 キュリー補充しなければならないが、この分は一応コスト計算から除外する。

### 4.2.3 製造コスト

#### (1) 原料費

使用する原料の価格を Table 4 に示す。1kg の製品を作るのに必要な樹脂量も同時に Table 4 に示した。これらの値を用いて計算すると原料樹脂価格は 83.35 円/kg となる。

安定剤は製品 1kg に 0.05 g 配合する。窒素ガスは原料樹脂 1kg 処理するのに 1 ℓ 使用する。ブタジエンは原料に 8% グラフトさせる。またその使用量の 90% が反応に消費されるとすれば、原料樹脂 1kg 処理に必要な原料コストはそれぞれ

ブタジエン

$$8\% \times \frac{100}{90} \times 100 \text{ 円/kg} = 8.89 \text{ 円/kg}$$

安定剤

Table 3 Cost Analysis of Various Type of Process 12)

| Plant No.   | Over-all Plant Cost | 1 Yard Improvement | 2 Building Service Equipment | 3 Process Equipment | 4 Piping | 5 Electricity | 6 Service | Sum of 1 ~ 6 | Remaining Cost |
|---|---------------------|--------------------|------------------------------|---------------------|----------|---------------|-----------|--------------|----------------|
| I Solid Handling Plant  | 7                   | 4.7                | 11.3                         | 47.3                | 3.4      | 6.2           | 5.2       | 78.1         | 21.9           |
|   | 8                   | 9.1                | 10.3                         | 44.7                | 3.4      | 5.9           | 5.0       | 78.4         | 21.6           |
|   | Average             | 6.9                | 10.8                         | 46.0                | 3.4      | 6.1           | 5.1       | 78.3         | 21.7           |
| II Solid-Liquid Handling Plant  | 6                   | 1.6                | 9.7                          | 46.7                | 6.5      | 6.7           | 5.4       | 76.6         | 23.4           |
|   | 10                  | 3.7                | 7.8                          | 39.1                | 11.4     | 5.6           | 12.1      | 79.7         | 20.3           |
|   | 11                  | 2.6                | 12.0                         | 37.4                | 13.0     | 4.0           | 8.8       | 77.8         | 22.2           |
|   | 12                  | 0.7                | 6.7                          | 47.0                | 7.2      | 6.2           | 8.2       | 76.0         | 24.2           |
|   | 13                  | 1.4                | 7.6                          | 49.4                | 12.8     | 3.1           | 8.5       | 82.8         | 17.2           |
|   | 14                  | 2.3                | 8.3                          | 44.3                | 11.6     | 3.2           | 12.9      | 82.6         | 17.4           |
| Average   | 2.0                 | 8.2                | 45.2                         | 11.3                | 3.8      | 10.6          | 81.1      | 18.9         |                |
| III Liquid Handling Plant   | 1                   | -                  | -                            | 41.3                | 8.7      | 8.1           | 6.2       | 64.3         | 35.7           |
|   | 2                   | -                  | -                            | 43.0                | 9.4      | 8.1           | 6.8       | 67.3         | 32.7           |
|   | 3                   | -                  | 15.8                         | 36.4                | 14.1     | 8.1           | -         | 71.4         | 28.6           |
|   | 4                   | -                  | 17.4                         | 35.0                | 8.6      | 8.3           | 2.9       | 72.2         | 27.8           |
|   | 5                   | 0                  | 14.1                         | 35.2                | 18.0     | 4.7           | 1.5       | 73.5         | 26.5           |
|   | 9                   | 1.4                | 6.1                          | 32.3                | 21.3     | 3.9           | 9.0       | 74.0         | 26.0           |
| Average   | 0.7                 | 9.5                | 34.4                         | 17.3                | 5.0      | 5.8           | 72.7      | 27.3         |                |
| IV Average of Cost Ratio of Plant between \$1,000,000 and \$4,000,000 |                     |                    |                              |                     |          |               |           |              |                |
| Solid Handling Plant  |                     | 6.9                | 10.8                         | 46.0                | 3.4      | 6.1           | 5.1       | 78.3         | 21.7           |
| Solid-Liquid Handling Plant   |                     | 1.9                | 8.6                          | 42.9                | 9.4      | 5.5           | 9.0       | 77.3         | 22.7           |
| Liquid Handling Plant   |                     | 1.4                | 6.1                          | 32.9                | 21.3     | 3.9           | 9.0       | 74.0         | 26.0           |

$$700 \text{ 円/kg} \times 0.05 / 100 = 0.35 \text{ 円/kg}$$

窒素ガス

$$90 \text{ 円/kg} \times 1 / 1000 = 0.09 \text{ 円/kg}$$

したがって製品 1kg の原料コストは近似的に

$$(83.35 \text{ 円} + 8.89 \text{ 円} + 0.35 \text{ 円} + 0.09 \text{ 円}) \times \frac{100}{108} = 85.81 \text{ 円/kg}$$

となる。

Table 4 Cost of Raw Materials Necessary for Producing 1 kg of Product

| Raw Material        | Weight of Raw Materials Necessary for Producing 1 kg Product (g) | Price (yen/kg) | Cost of Each Raw Materials (yen/kg) |
|---------------------|--|----------------|-------------------------------------|
| PVC                 | 906.5  | 80             | 72.51                               |
| Wax                 | 0.91   | 100            | 0.09                                |
| Monomer             | 18.13  | 200            | 3.63                                |
| BD-gas              | 92.32 *1)  | 100            | 9.23                                |
| Stabilizer          | 0.50   | 700            | 0.35                                |
| N <sub>2</sub> -gas | 1.00   | 100            | 0.10                                |
| Total               |  |                | 85.91                               |

\* 1) 80% of butadiene is grafted onto PVC

(2) 直接労務費

装置は 1 班 2 名, 3 交代で運転し, 1 人当りの年間人件費を 150 万円とする。製品 1 kg 当りの労務費は年間生産高が 311.2 トンであるから

$$150 \text{ 万円} \times 6 / 311.2 \text{ トン} = 28.92 \text{ 円/kg}$$

となる。

(3) ユーティリティズ

本パイロットではガス, 蒸気は全く使用せず, また冷却水の消費も少い。電力費が大部分を占める。平均電力使用量は 15 KW/h であり, 電気料金を 8 円/KWH とすれば電力費は

$$15 \text{ KW/h} \times 8 \text{ 円/KWH} = 120 \text{ 円/hr}$$

製造能力が 54 kg/hr であるから, 製品 1 kg に占める電力は

$$\frac{120 \text{ 円/hr}}{54 \text{ kg/hr}} = 2.22 \text{ 円/kg}$$

したがって他のユーティリティを含め 3.00円/kg と推定する。

(4) 保全費

資材、人件費について、それぞれ固定資本費の 2% とする。

$$\frac{5667 \text{万円} \times 2\% \times 2}{311.2 \text{トン}} = 7.25 \text{円/kg}$$

(5) 予備部品費

保全費の 15% をとり、

$$7.25 \text{円/kg} \times 15\% = 1.09 \text{円/kg}$$

(6) 検査費

労務費の 20% をとり

$$28.92 \text{円/kg} \times 20/100 = 5.78 \text{円/kg}$$

とする。

(7) 包装輸送費

製品トン当り 1ドルとし、0.30円/kg とする。

(8) 監督費

労務費の 15% とする。

$$28.92 \text{円/kg} \times \frac{15}{100} = 4.31 \text{円/kg}$$

以上が直接製造コストである。なお特許費についてはこのプロセスでは必要ないので省いた。

(9) 間接労務費

Productive Labor の 22% とする。

$$\begin{aligned} 22\% \times \text{Prod. Labor} &= \frac{22}{100} \times (28.92 + 7.52/2 + 4.31) \\ &= \frac{22}{100} \times 36.86 \text{円/kg} = 8.11 \text{円/kg} \end{aligned}$$

(10) プラント予備費

Productive Labor の 50% とする。

$$36.86 \text{円/kg} \times 50/100 = 18.43 \text{円/kg}$$

(11) 償却費

10年間定額とし、10年後の装置の残存価格を零とすれば



$$\frac{5667 \text{万円}}{10 \text{年} \times 3112 \text{トン/年}} = 18.21 \text{円/kg}$$

## (12) 税金

固定資本費の1%とする。

$$5667 \text{万円} \times \frac{1}{100} \times \frac{1}{311.1 \text{トン}} = 1.82 \text{円/kg}$$

## (13) 保険料

同じく固定資本費の1%とすれば1.82円/kgとなる。

以上の結果を総計し、全製造コストを求めるとTable 5に示すように184.85円/kgとなる。原料費にくらべ2倍以上と非常に高くなっている。

Table 5 Estimation of Manufacturing Costs of Modified PVC by Pilot Plant

| ITEM                     | Calculation Basis   | Cost (yen/kg) |
|--------------------------|---|---------------|
| <u>Direct Cost</u>       |   |               |
| Raw Materials            | See Table 4   | 85.81         |
| Direct Labor             | Assume 2 men/shift, 3 shift/day<br>1.5x10 <sup>6</sup> yen/man/year | 28.92         |
| Utilities                | Assume 3.0 yen/kg   | 3.00          |
| Repair, Maintenance      | 4% of fixed Capital/year  | 7.25          |
| Supplies                 | 15% of Repair and Maintenance                                       | 1.09          |
| Laboratory               | 20% of Direct Labor   | 5.78          |
| Packing and Shipping     | Assume 0.30 yen/kg  | 0.30          |
| Supervision              | 15% of Direct Labor   | 4.31          |
| Subtotal                 |   | 136.46        |
| <u>Indirect Cost</u>     |   |               |
| Plant Overhead           | 50% of Productiv Labor  | 18.43         |
| Payroll Overhead         | 22% of Productive Labor   | 8.11          |
| Depreciation             | Straight-Line, 10 years   | 18.21         |
| Property Tax             | 1% of Fixed Capital   | 1.82          |
| Insurance                | 1% of Fixed Capital   | 1.82          |
| Subtotal                 |   | 48.39         |
| Total Manufacturing Cost |   | 184.85        |

## 5 10倍スケールアップしたプラント による製造コストの推算

現パイロットプラントのスケールは年間5,760時間運転するものとすれば年生産約300トンでこの規模でのコスト推算は、Winter法が工業スケールでのプラントを対象として考えられている関係で、誤差は大きいと思われる。そこで10倍にスケールアップしたプラントを想定してコスト推算を行なうことにする。粉体プロセスであるのでスケールアップは難しいが、10倍程度であればパイロットプラントの形式を変えることなくスケールアップできるものと推定される。

### 5.1 固定資本の推算法

パイロットプラント建設費の内訳は概略Table 1に示したようになっている。Table 3に示したLangの解析にもとずき、本プロセスを固体プロセスとして、パイロット建設費に含まれないものは計算から除外した。Table 6より明らかのように、Langの解析が本パイロット建設費に正確にあてはまることがわかる。プロセス機器関係の費用は計装機器を含めて1,400万円になる。プラントの機器のコストはその容量の0.6乗にはほぼ比例することがWilliams<sup>10) 11)</sup>らにより示されている。本パイロットプラントについて考えれば、反応機は10倍のスケールアップを必要とするが、製品貯槽、コンベアは2.5倍のスケールアップで充分である。したがって、0.6乗より低いファクターでよいはずであるが、プロセス自体に未知の部分の多いことを考慮し、そのまま0.6乗則を適用する。したがってプラント機器コストは

$$1400\text{万円} \times (10)^{0.6} = 5580\text{万円}$$

この値をもとにLang-Chiltonの方法<sup>1) 2)</sup>によって固定資本費を求める。Langによれば全プロセス機器関係コストの内訳はTable 7に示すようになる。したがっていま求めた機器コストを0.70で割ってやれば、据付までを含めた全機器のコストが求まる。

その他の費用についてまたChilton<sup>2)</sup>はTable 8に示したようなファクターを与えている。この表にしたがってプラント建設に直接必要な費用が求まる。つぎにこの合計をもとにしてTable 9に示す項目を求め総計したものが最終的なプラント建設コストになる。

この推算のもとになるプラント機器コストは0.6乗則を適用して求めたが、この中にはスケールアップによって必要となる機器（例えば粉体の連続混合装置、粉体輸送システム、包装装置など）が含まれていないし、照射設備も入っていない。これについては次節において考察を加える。

### 5.2 固定資本費の推算結果

スケールアップにともない、人力で粉体の供給、混合包装ができなくなるのでこれを自動化する必要がある。処理速度を500kg/hとして、概算してTable 10のごとく見積る。据付まで含めて1,573万円となる。

照射施設については、反応機を半分地中に埋める半地下構造がよいと考えられる。またこれはプラント性質が異なるので、これを含めてChilton法を適用するとうまくない。そこで別

Table 6 Cost Analysis of PVC Pilot Plant (Solid Handling Process)

| Item              | Cost Ratio proposed by Lang (%) | Cost estimated from Lang's Ratio | Actual Construction Cost |
|-------------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| Yard Improvement  | 6.9                             | -                                | -                        |
| Building          | 10.8                            | -                                | -                        |
| Process Unit      | 46.0                            | 13.4x10 <sup>6</sup> Yen         | 14.0x10 <sup>6</sup> Yen |
| Piping            | 3.4                             | 1.0 "                            | 1.6 "                    |
| Electricity       | 6.1                             | 1.8 "                            | 1.3 "                    |
| Service Equipment | 5.1                             | - "                              | - "                      |
| Others            | 21.7                            | 6.3 "                            | 5.6 "                    |
| Total             | 100.0                           | 22.5 "                           | 22.5 "                   |

Table 7 Percents of Each Cost Elements in Process Equipment<sup>12)</sup>

| Plant No. | Grounding | Support | Setting | Equipment |
|-----------|-----------|---------|---------|-----------|
| 1         | 7.1 %     | 4.0 %   | 11.3 %  | 77.6 %    |
| 2         | 6.0       | 2.8     | 10.9    | 80.3      |
| 3         | 3.5       | 2.0     | 15.1    | 70.4      |
| 4         | 0.6       | 21.2    | 11.0    | 67.2      |
| 5         | 3.6       | 3.0     | 15.9    | 77.5      |
| 6         | 2.2       | 1.5     | 18.7    | 77.6      |
| 7         | 8.8       | 6.0     | 17.0    | 64.2      |
| 8         | 8.8       | 6.1     | 17.0    | 68.1      |
| 9         | 5.3       | 12.9    | 13.2    | 68.6      |
| 10        | 4.1       | 13.3    | 18.4    | 64.2      |
| 11        | 8.2       | 6.7     | 5.2     | 80.0      |
| 12        | 2.7       | 8.9     | 19.3    | 69.1      |
| 13        | 4.2       | 6.3     | 20.2    | 69.3      |
| 14        | 4.7       | 9.4     | 19.0    | 66.0      |
| Average   | 5.0       | 6.8     | 15.5    | 72.7      |

Table 8 Ratio of Additional Cost to Equipment Cost

| Additional Cost                                    | Percent of Additional Cost (%)      |                                     |                                   | Percent used<br>This Estimation |
|--|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
|  | High                                | Moderate                            | Low                               |                                 |
| Process Piping<br>Type of Plant                    | 30 ~ 60<br>Liquid Handling<br>Plant | 10 ~ 30<br>Solid-Liquid<br>Handling | 7 ~ 10<br>Solid Handling<br>Plant | 10                              |
| Process Control<br>Degree of Control               | 10 ~ 15<br>Complex                  | 5 ~ 10<br>Normal                    | 2 ~ 5<br>Simple                   | 5                               |
| Building<br>Plant Location                         | 60 ~ 100<br>In-Door                 | 20 ~ 60<br>Partially Out-<br>Door   | 5 ~ 20<br>Out-Door                | 80                              |
| Offsite<br>Facilities<br>Degree of<br>Construction | 25 ~ 100<br>New Facilities          | 20 ~ 60<br>Partially New            | 5 ~ 20<br>Not New                 | 20                              |
| Out door Piping<br>Length                          | 15 ~ 25<br>Long                     | 5 ~ 15<br>Average                   | 0 ~ 5<br>Short                    | 10                              |

Table 9 Ratio of Indirect Cost (Engineering, Size Factor, ... ) to Direct Plant Construction Cost <sup>2)</sup>

| Item                              | Percent of Each Cost (%)        |                                      |                                     | Ratio used<br>This Estimation |
|-----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
|                                   | High                            | Moderate                             | Low                                 |                               |
| Engineering Fee<br>Degree of Eng. | 35 ~ 50<br>Complex              | -<br>-                               | 20 ~ 35<br>Simple                   | 30                            |
| Safety Factor<br>Process Type     | 30 ~ 50<br>Unknow Process       | 20 ~ 30<br>Partially Proven<br>Proc. | 10 ~ 20<br>Proven Pro-<br>cess      | 25                            |
| Size Factor<br>Plant Size         | 15 ~ 35<br>Experimental<br>Unit | 5 ~ 15<br>Small Commercial<br>Unit   | 0 ~ 5<br>Large Commer-<br>cial Unit | 10<br>10                      |

に求めて最終的に加えることにする。

(1) 線源

反応器は高さで2倍，断面積で5倍にスケールアップする。反応管径は約2倍になるので前と同じ線量率を得るためには，線源量は約4倍必要，長さを考えると8倍必要となる。したがって，線源量は

$$5000 \text{ キュリー} \times 8 = 40,000 \text{ キュリー}$$

キュリー当り300円として

$$\text{線源費} \quad 1,200 \text{ 万円}$$

となる。

(2) 照射室

照射室の地上部は高さで2m，巾で1m現在のものより大きくすれば充分である。パイロット用のものより50%余分に見積れば充分であろう。地下部は反応機用としてはあまり大きさを必要としないが，線源の格納場所や組み立て用のスペースがかなり必要となるので，地上部の更に50%増しとする。インタロック，線源移動装置，クレーンなどにも費用を要する。それぞれTable 11に示すように見積る。合計約4,000万円となる。

(3) プラントコスト

前述した0.6乗則による値に，スケールアップによって必要となった機器コストを加えて

$$5,580 \text{ 万円} + 1,573 \text{ 万円} = 7,153 \text{ 万円}$$

が推算のもとになるプラント機器コストである。いまこれをAとする。Aを基準にTable 8, Table 9にもとずいて推算を進める。以下に計算順をしるすと，

①  $A = \text{プラント機器コスト} = 7,153 \text{ 万円}$

② プロセス配管

比較的配管は少ないので10%とする。

$$A \times 10\% = 715 \text{ 万円}$$

③ 計装

機器コストの見積りの中に一部計装機器が含まれているので，ファクターを低くとり

$$A \times 5\% = 358 \text{ 万円}$$

④ 建屋

プラントは屋内に設置するとして

$$A \times 80\% = 5,722 \text{ 万円}$$

⑤ 補助設備

$$A \times 20\% = 1,531 \text{ 万円}$$

⑥ 屋外配管

$$A \times 10\% = 715 \text{ 万円}$$

⑦ 以上の合計

$$\text{①} + \text{②} + \text{③} + \text{④} + \text{⑤} + \text{⑥} = 1 \text{ 億 } 6193 \text{ 万円}$$

Table 10 Cost of Additional Equipments necessary for  
10 Times Scale-up Plant

| Equipment                  | Number | Unit Price              | Sum Price                |
|----------------------------|--------|-------------------------|--------------------------|
| Continuous Mixer           | 2      | 2.0x10 <sup>6</sup> yen | 4.0x10 <sup>6</sup> yen  |
| Constant Weighing Feeder   | 3      | 1.0 "                   | 3.0 "                    |
| Product Hopper             | 2      | 1.0 "                   | 2.0 "                    |
| Pneumatic Conveying System | 1      | 2.0 "                   | 2.0 "                    |
| Total                      |        |                         | 11.0x10 <sup>6</sup> yen |

Over-all Equipment Cost ---- Total x 1.43=15.73x10<sup>6</sup>yen  
(including setlig, support,etc.)

Table 11 Cost of Irradiation Facilities

| Facilities                      | Cost (x10 <sup>6</sup> yen) |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Irradiation Cell (on the Floor) | 9.0                         |
| " " (Under Ground)              | 13.5                        |
| Inter-rock System               | 4.0                         |
| Radiation Source Driving Device | 1.0                         |
| Crane                           | 2.0                         |
| Subtotal                        | 29.5 x 10 <sup>6</sup> yen  |
| Radiation Source (Co-60)        | 12.0 x 10 <sup>6</sup> yen  |
| Total                           | 41.5 x 10 <sup>6</sup> yen  |

- ⑧ ⑦に照射設備関係のコストを加える。

$$16,193\text{万円} + 4,150\text{万円} = 20,343\text{万円}$$

これをBとする。

- ⑨ エンジニアリング費

$$B \times 30\% = 6,103\text{万円}$$

- ⑩ 危険費（製作にともなうメーカーの危険負担費）

$$B \times 25\% = 5,086\text{万円}$$

サイズファクター（スケールが変ることに対するメーカーの危険負担費）

$$B \times 10\% = 2,034\text{万円}$$

以上の合計がプラントコストすなわち固定資本費となる。

$$\text{プラントコスト} = \text{⑧} + \text{⑨} + \text{⑩} = 33,566\text{万円}$$

### 5.3 製造コストの推算

前節で求めた固定資本費をもとに第4章で述べた方法によって、製造コストを計算する。

- (1) 原料費

スケールアップによってかなり安くなると思われる。

例えばブタジエンはコンビナートよりパイプラインで供給するようにすれば、60円/kg程度にまでさがると推定される。しかしこの推算ではスケールアップの効果が製造コストに及ぼす影響をみるためもあり、一応原料費はパイロットの場合と同じとする。

- (2) 直接労務費

3名3交代制とし、1人当りの人件費は年間150万円とする。

$$\frac{150\text{万円} \times 9}{3112\text{トン}} = 4.34\text{円/kg}$$

- (3) ユーティリティズ

反応機攪拌動力は装置が10倍にねっても、せいぜい3倍程度に増すだけである。したがって他のユーティリティを含めて

$$3\text{円/kg} \times 3/10 = 0.90\text{円/kg}$$

とする。

- (4) 保全費

固定資本費の2%とする。資材、人件費のそれぞれについてこの額が必要とする。

$$\frac{33,566\text{万円} \times 4\%}{3,112\text{トン}} = 4.31\text{円/kg}$$

- (5) 予備部品費

保全費の15%

$$4.31\text{円} \times 15\% = 0.65\text{円/kg}$$

## (6) 検査費

生産規模が大きくなっても、あまり変わらないと思われる。Winterらの推せん値1ドル/トンをとれば、

$$0.30 \text{ 円/kg}$$

となる。

## (7) 包装費

同じくトン当たり1ドルとして、 $0.30 \text{ 円/kg}$ とする。

## (8) 監督費

労務費の15%とする。

$$4.34 \text{ 円/kg} \times 15\% = 0.65 \text{ 円/kg}$$

## (9) 間接労務費

Productive Laborの22%とする。

$$(4.34 + 2.16 + 0.65) \times \frac{22}{100} = 7.15 \text{ 円/kg} \times \frac{22}{100} = 1.57 \text{ 円/kg}$$

## (10) プラント予備費

Prod Laborの50%とする。

$$7.15 \text{ 円/kg} \times 50\% = 3.58 \text{ 円/kg}$$

## (11) 償却費

パイロットプラントの場合と同一の償却法を採用する。

$$\frac{33,566 \text{ 万円}}{10 \text{ 年} \times 3,112 \text{ トン/年}} = 10.79 \text{ 円/kg}$$

## (12) 税金、保険料

それぞれ固定資本費の1%とする。

$$\frac{33,566 \text{ 万円} \times 1\% \times 2}{3,112 \text{ トン}} = 2.16 \text{ 円/kg}$$

以上合計すると、 $114.24 \text{ 円/kg}$ となりパイロットの場合に比べて大巾に安くなる。Table 12に推算の結果をまとめて、パイロット及び10倍スケールアップ・プラントについての比較を行なった。

パイロットスケールでは加工費の約30%を直接労務費が占める。労務費に関係する項目(2, 4, 5, 8, 9, 10)の合計は65%と約2/3を占める。これに反してスケールアップした場合はこの項目の和は40%と大巾に低下する。

これは2人3交代を3人に増したのみで、10倍スケールアップが可能と仮定したためである。

スケールアップした場合は償却費が約40%を占めるようになるが、これは照射室など余分な固定費がかさんだためである。10倍のスケールアップにより固定費は $10^{0.77}$ 倍に増加し



た。この指数の0.77は通常値の0.6にくらべて、かなり大きく、このことはこの放射線プロセスが一般の化学工業のプロセスにくらべて、スケールアップのメリットが低いことを示している。

Table 12 Estimated Manufacturing Cost of Modified PVC

| Item                     | Cost (yen/kg)                 |                         |                      |
|--------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|
|                          | Pilot Plant<br>(300 ton/year) | 10 times scale-up Plant |                      |
|                          |                               | Graft Only              | Blend with PE        |
| 1 Raw Materials          | 85.81(46.4)*                  | 85.81(74.4)*            | 83.30(79.5)*         |
| 2 Direct Labor           | 28.92(15.6)                   | 4.34( 3.8)              | 3.00( 2.9)           |
| 3 Utilities              | 3.00( 1.6)                    | 0.90( 0.8)              | 0.90( 0.9)           |
| 4 Repair and Maintenance | 7.25( 3.9)                    | 4.31( 3.7)              | 3.11( 3.0)           |
| 5 Supplies               | 1.09( 0.6)                    | 0.65( 0.5)              | 0.47( 0.4)           |
| 6 Laboratory             | 5.78( 3.1)                    | 0.30( 0.3)              | 0.30( 0.3)           |
| 7 Packing and Shipping   | 0.30( 0.2)                    | 0.30( 0.3)              | 0.30( 0.3)           |
| 8 Supervision            | 4.31( 2.3)                    | 0.65( 0.6)              | 0.45( 0.4)           |
| 9 Payroll Overhead       | 8.11( 4.4)                    | 1.57( 1.4)              | 1.10( 1.0)           |
| 10 Plant Overhead        | 18.43(10.0)                   | 3.58( 3.1)              | 2.51( 2.4)           |
| 11 Depreciation          | 18.21( 9.9)                   | 10.79( 9.4)             | 7.77( 7.4)           |
| 12 Property Taxes        | 1.82( 1.0)                    | 1.08( 0.9)              | 0.78( 0.7)           |
| 13 Insurance             | 1.82( 1.0)                    | 1.08( 0.9)              | 0.78( 0.7)           |
| <b>Total</b>             | <b>184.85(100.0)</b>          | <b>115.36(100.0)</b>    | <b>104.77(100.0)</b> |

\*) Figures in blanket show percentage of each items.

## 6 競合品との比較

### 6.1 性能面での比較

放射線法によってブタジエンをグラフト重合したポリ塩化ビニルはアイゾット衝撃値が $180 \text{ kg cm/cm}^2$ という非常によい耐衝撃性を示す。しかし、これが耐衝撃ポリ塩化ビニルとして工業的に生産されるためには、競合品と比較して、ほかの性能面でも、コスト面でも優れていなければならない。

Table 13 に物性面での比較を、主な競合品であるABS, MBS, 塩素化ポリエチレン, エチレン-酢ビ共重合体について行なったものを示した。各樹脂それぞれ一長一短があるが項目別に比較すると次のようになる。

#### (1) 機械的強度

抗張力は水道用のパイプに使用する際には、 $5 \text{ kg/mm}^2$  必要であるが、耐衝撃性を増そうとすると通常は樹脂が軟質化し抗張力は低下してくる。特に塩素化ポリエチレンはPVCに15%以上ブレンドすると、この傾向が著るしく軟化温度も $60^\circ\text{C}$ 以下にさがる。

ABS, MBSを20PHR程度ブレンドしたものは高い耐衝撃性を示す。抗張力もあまり落ちない。放射線グラフト樹脂はブタジエンのみをグラフトしたものは、 $5 \text{ kg/mm}^2$ 程度の抗張力と高い衝撃値を示すが、第3成分としてアクリル酸エステルを共重合させたものは軟質化する傾向がある。

#### (2) 低温耐衝撃性

一般にブタジエンを含んだABS, MBS, 放射線グラフト樹脂は約 $-30^\circ\text{C}$ 迄、耐衝撃性を失わないが、塩素化ポリエチレンブレンド物, エチレン-酢ビ塩化ビニルグラフト物はブレンド量が少ないと脆化温度は $20^\circ\text{C}$ 程度と高くなる。放射線改質PVCは特に低温耐衝撃性がすぐれ、 $-20^\circ\text{C}$ にてアイゾット衝撃値は $30 \text{ kg/cm}^2$ である。

#### (3) 透明性

ABS, MBS, 塩素化ポリエチレンとも透明配合用のものが作られ、これをブレンドした樹脂は主に食品容器用に使われている。放射線グラフト樹脂もブタジエンのみを使用したときは透明性がよいが、第3成分を共重合したものはその量が増すにつれて不透明になってくる。エチレン-酢ビ系も透明性は悪い。

#### (4) 耐候性

空気中での紫外線照射によって劣化が起る。特にブタジエンを含んだ樹脂はこの傾向が著るしい。ABS, MBS, 放射線グラフトポリ塩化ビニルはいずれも茶色に変色し、耐衝撃性を失なう。第3成分を加えた放射線グラフト樹脂は変色するが、衝撃値の低下は少ない。塩素化ポリエチレンブレンド物は変色は少ないが、衝撃値は次第に低下する。エチレン-酢ビ塩化ビニルグラフト樹脂は非常に耐候性に優れ、ほとんど劣化、変色がない。

#### (5) 成型加工性

熔融時の流動性が悪いと成型が難しくなり、用途が制限されてくる。また流動性を増すための成型温度を上げると樹脂が分解しやすくなる。

Table 13 Comparison of Various Type of High Impact PVC

|  | Straight PVC   | Radiation Graft PVC Graft% 8.5%   | ABS Blend 15 PHR                                     | MBS Blend 20 PHR   | Chlorinated PE Blend 10 PHR  | Ethylene-VAC Copolymer                             |
|--|--|---|--|--|------------------------------|--|
| Izod Impact Strength (Kg-cm/cm <sup>2</sup> )  | 20°C 2.7<br>0°C 1.8<br>-20°C 0.3   | 20°C 188<br>-20°C 30  | 20°C 68<br>-20°C 6                                   | 20°C 102 <sup>*1)</sup>  | 0°C 4 ~ 10                   | 23°C 105<br>0°C 25<br>-20°C 6                      |
| Yield Strength (at 20°C) (Kg/cm <sup>2</sup> ) | 600  | 430   | 450  | 490  | 480                          | 390  |
| Thermal Destor-sion                            |  | 77.3  |  |  |                              | 78   |
| Softening Point (°C) Vicat                     | 72   |   | 67.4   | 65   | -                            | 73   |
| Color Change                                   | Less   | turn to Brown   | Brown  | Brown  | Discolour                    | no Change  |
| Weather ability                                |  |   |  |  |                              |  |
| (Weather tester) Impact Strength               | *2) 0 month 6<br>6 " 4<br>12 " 4   | 0 hr 100%<br>200 " 95"<br>400 " 85"<br>600 " 55"                                    | 0 hr 84%<br>300 " 99"<br>600 " 7"                    | 0 hr 95<br>200 " 6   | 0 hr<br>200 " 31<br>400 " 26 | 0 month 131 <sup>*2)</sup><br>6 " 74<br>12 " 65    |
| Flow Properties                                |  |   |  |  |                              |  |
| Flow Tester                                    | 210°C, 1φx10mm Nozzle<br>2x10 <sup>-3</sup> cc/sec (at 100Kg/cm <sup>2</sup> ) | 210°C, 1φx10mm<br>1.7x10 <sup>-3</sup> cc/sec <sub>2</sub> (100Kg/cm <sup>2</sup> ) | 200°C, 1φx2mm<br>1.2x10 <sup>-1</sup> cc/sec (100Kg) | 200°C, 1φx10mm<br>0.7x10 <sup>5</sup> Poise (150Kg/cm <sup>2</sup> ) |                              | 143°C, 1φx5mm<br>5x10 <sup>-3</sup> cc/sec (130Kg) |
| Thermal Stabilities (Gear Oven Test)           | 73 min (at 190°C)  | 105 min (at 190°C)  | -  | -  | -                            | 100 min (at 190°C)                                 |
| Transparency                                   | Clear  | Cloudy  | Clear  | Clear  | Cloudy                       | Cloudy   |

\*1) Charpy Izod Test      \*2) Out Door Exposure      \*3) Dn-Port Type Test

他のものに比べ放射線グラフト樹脂の熔融流動性はやや悪い。このままではブロー成型は不可能である。

エチレン-酢ビ系は非常によい流動性を有している。

#### (6) 耐熱性

ABS, MBS, 塩素化ポリエチレンをブレンドしたものはやや軟質化し軟化温度は60℃台に落ちる。これに対して放射線グラフトポリ塩化ビニルはもとのポリ塩化ビニルと同等もしくはやや高い軟化温度を示す。ギャーオープンによる熱安定性もポリ塩化ビニルよりよい値を示す。

以上放射線グラフト重合法によって製造したブタジエングラフト重合ポリ塩化ビニル樹脂と主な競合品と性能の比較を行なった。その結果、透明度が低いこと、熔融流動性がやや悪いことを除き、他の競合品と同等、もしくはそれ以上の性能を有していることがわかった。

したがって適当な用途が開発されれば充分使用される可能性がある。競合品と同じ用途、例えばパイプ、建材、発泡成型材などを目指すのであれば、価格面からみても対抗しうるものでなければならない。

#### 6.2 コスト面での比較

塩素化ポリエチレン, ABS, MBS, 樹脂はいずれも昭和43年を基準にすると200円/kg前後である。十分な耐衝撃性を与えるには、20PHR程度をポリ塩化ビニルに配合する必要がある。したがってブレンド物1kg当りの原料費は

$$\frac{80\text{円/kg} \times 100 + 200\text{円/kg} \times 20}{100 + 20} = 100\text{円/kg}$$

となる。これに配合プロセスの運転によるコストを加えたものが、製造コストになる。

配合プラント機器はTable 10に示したものよりなるとする。これを3倍にスケールアップし15トン/hrの処理能力をもたせ、1日8時間運転を行なうものとする。

スケールアップに0.6乗則が適用できるとし、プラント機器費は

$$1100\text{万円} \times 3^{0.6} = 2120\text{万円}$$

となる。

Lang<sup>3)</sup>によればプラント機器費と固定資本費の間にはほぼ一定の比率が認められる。固体プロセスではこの比率は3.10であるから、固定資本費は

$$2120\text{万円} \times 3.10 = 6360\text{万円}$$

となる。

運転は2名が1日8時間行なうとすれば、人件費を1人当り150万円/年、生産量3000トン/年とし、労務費は

$$\frac{150\text{万円/年} \times 2}{3000\text{トン/年}} = 1.00\text{円/kg}$$

となる。この労務費と固定費をもとにして推算したkg当りのブレンドのコストは約7円、したがって製造コストは107円となり、放射線グラフト樹脂の115.38円にくらべて約8円安くなる。

エチレン-酢ビ-塩化ビニルグラフト樹脂は樹脂の価格が200円/kg以上しており、また十分な耐衝撃性を持たせるには1:1程度の比率でブレンドする必要があるので、原料費だけで140円/kgとなり、現状では性能は優れていても放射線グラフト樹脂と比較してコスト面で不利である。

## 7 ポリエチレンのブレンドによる 放射線改質PVCのコストの低減

### 7.1 改質PVCにポリエチレンをブレンドしたときの物性

放射線グラフトPVCは前述したように、ABSなどをブレンドした耐衝撃PVCにくらべて約8円/kg製造コストが高い。性能面で大差がないので、このままの状態では工業化が難かしい。製造コストを切り下げる工夫が必要である。その一つの方法として低グラフト率のブタジエングラフトPVCにポリエチレンをブレンドして耐衝撃をもたせることが考えられる。

Fig.2にポリエチレンブレンドの効果を示した。グラフト率3%ではポリエチレンブレンドの効果はあまり大きくないが、グラフト率5%程度になると5PHRのブレンドによって、著るしく耐衝撃性が増す。通常耐候性改良のためのモノマーをグラフト量の1/4程度加えるのでグラフトするブタジエン量は4%で充分である。

さきに考えた10倍スケールアッププラントでは、グラフト率8%と設定したが、4%でよいのであれば同一反応機を用いて、生産量を約1.5倍にすることができる。

そこで4%ブタジエングラフト樹脂を年産4,500トン処理できるとしてコスト計算を行なう。

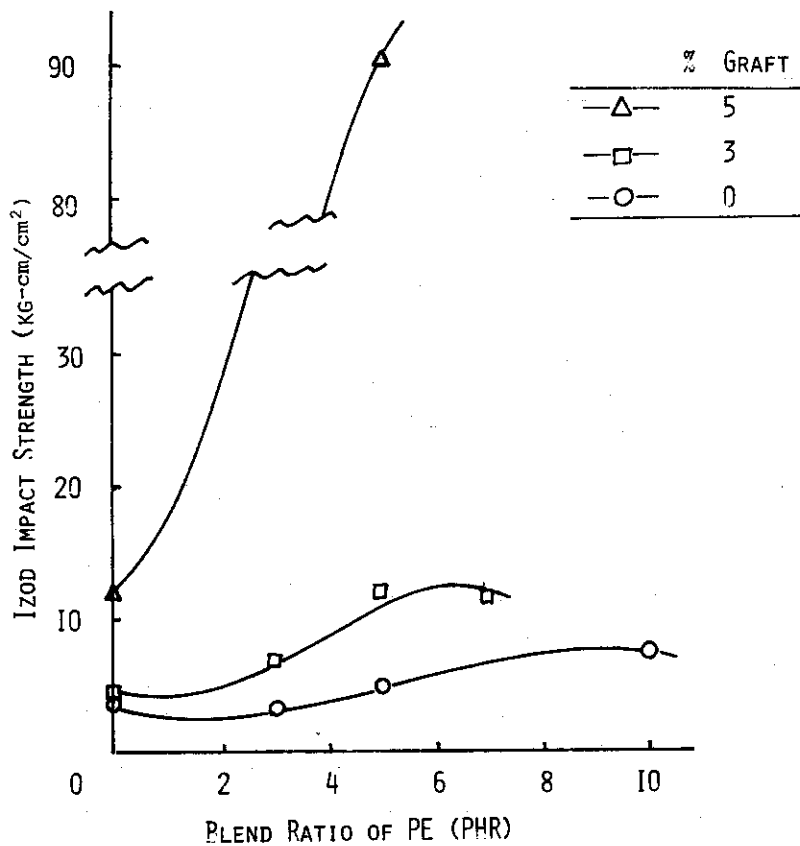


Fig. 2 Impact strength of blend polymer of modified PVC and poly-ethylene

## 7.2 ポリエチレンブレンド系のコスト

原料費は昭和43年を基準とし、ポリエチレンを100円/kgとして計算すると、製品1kgにつき8330円となり、幾分安くなるがこれは主に使用する液状モノマー量が半分に減ったためである。

固定費はブランドの生産規模が1.5倍となるので、5.2節で求めた値より大きくなる。ただし、反応機はそのままの大きさであるから、反応機、コンベア、照射施設は同一の大きさでよい。したがってTable 10 にあげた機器についてのみ1.5倍のスケールアップを行なえばよい。

0.6乗則を適用しこの部分のコストは建設引渡の機器コストにスケールアップのファクターを掛けて、

$$1,100\text{万円} \times 1.5^{0.6} = 1,410\text{万円}$$

プラント部分のコストはこれに2.25を乗じ

$$7,600\text{万円} \times 2.25 = 17,100\text{万円}$$

照射設備関係の費用をこれに加えて

$$17,100\text{万円} \times 4,150\text{万円} = 21,250\text{万円}$$

これにエンジニアリング及び危険費などのファクター65%を加える。

$$21,250\text{万円} \times 1.65 = 35,000\text{万円}$$

これがプラントコストになる。

5.3節で行なった方法によって製造コストを計算した結果をTable 12と一緒に示す。推算の基準として用いた値は生産量4500トン/年、固定資本費3.5億円、3名3交代運転などである。製造コストは約105円/kgと1.0倍スケールアップのときと比べて、約10円と大巾に低下した。これは固定資本費をほとんど増さずに生産能力を1.5倍に出来たためである。このコスト計算ではポリエチレンブレンドのための設備を考慮してないが、これは安定剤の配合の装置がそのまま使用できると仮定したからである。もしこのために新しく設備と運転する人が必要となればコストは1~2円増加するであろう。

この場合でも製造コストは106~107円/kgで、競合品であるABSなどのブレンド樹脂の製造コスト107円/kgとはほぼ同じとなる。

## 8 結 論

γ線同時照射法によるブタジエングラフトポリ塩化ビニルは極めて高い耐衝撃性を有し、耐衝撃PVCとして他の競合品と比較し性能面、コスト面でまさってれば充分工業化が可能である。性能面では透明度に若干欠ける点を除きABS、MBS、塩素化ポリエチレンに比べて遜色はない。特に第3成分としてアクリル酸エステルを少量重合させたものは、ABSなどに比べて非常によい耐候性を示す。

製造コストは現在のパイロットプラントを用いて生産した場合は185円/kgとなりとても競争できない。しかしこれを10倍にスケールアップし、年産約3000トンのプラントにすると、コストは約115円/kgにさがる。競合品であるABSブレンドPVCなどブレンド用プラントの規模を同じく3000トン/年にとって製造コストを推算すると、約107円/kgとなりかなり接近してくる。しかしまだ8円/kg程度割高であり、また放射線プロセスという未知の危険を含んでいるので、このままでもまだ工業化は困難と思われる。さらに一段とスケールアップを行えばコストは100円近くまで下げられると思われるが、耐衝撃PVCの需要自体が現時点ではあまり大きくないこと、などから数万トン/年といった大きなスケールアップは不可能であろう。

あまりスケールアップをしないでコストを下げる一方法として、グラフト樹脂のグラフト率を下げて、この下げた分をポリエチレンをブレンドしておきなう方法を考えた。この方法で耐衝撃PVCを製造するとコストは105円/kgとなり、在来品と充分競争できる値段となる。

終りに物性評価に多大の御協力をいただいた東海研究所フッ素化学研、鈴木和弥氏にあつく感謝いたします。

## 9. 参 考 文 献

- 1) Lang, H.J., Chem. Eng., 53, Oct., 117 (1947)
- 2) Chilton, C.H., Chem. Eng., 55, June, 49(1949)
- 3) Lang, H.J., Chem. Eng., 54, June, 112 (1948)
- 4) Bach, N.G., Chem. Eng., 64, Sept. 22, 155 (1958)
- 5) Guthrie, K.M., Chem. Eng., 75, March 24, 114 (1969)
- 6) Winter, O., Ind. Eng. Chem., 63, No.4, 45 (1969)
- 7) 吉田, 鈴木, 荒木他 JAERI-M 4796 (1972)
- 8) 吉田, 鈴木, 荒木他 JAERI-M 4889 (1972)
- 9) ポリ塩化ビニルの改質用パイロット装置 (1968)
- 10) Williams, P, Jr., Chem. Ind. 61, 622 (1947)
- 11) Chilton, C.H., Chem. Eng., 56, Apr., 112 (1950)
- 12) 化学装置, 10, No.9, 52 (1968)



## 8 結 論

γ線同時照射法によるブタジエングラフトポリ塩化ビニルは極めて高い耐衝撃性を有し、耐衝撃PVCとして他の競合品と比較し性能面、コスト面でまさってれば充分工業化が可能である。性能面では透明度に若干欠ける点を除きABS、MBS、塩素化ポリエチレンに比べて遜色はない。特に第3成分としてアクリル酸エステルを少量重合させたものは、ABSなどに比べて非常によい耐候性を示す。

製造コストは現在のパイロットプラントを用いて生産した場合は185円/kgとなりとても競争できない。しかしこれを10倍にスケールアップし、年産約3000トンのプラントにすると、コストは約115円/kgにさがる。競合品であるABSブレンドPVCなどブレンド用プラントの規模を同じく3000トン/年にとって製造コストを推算すると、約107円/kgとなりかなり接近してくる。しかしまだ8円/kg程度割高であり、また放射線プロセスという未知の危険を含んでいるので、このままでもまだ工業化は困難と思われる。さらに一段とスケールアップを行えばコストは100円近くまで下げられると思われるが、耐衝撃PVCの需要自体が現時点ではあまり大きくないこと、などから数万トン/年といった大きなスケールアップは不可能であろう。

あまりスケールアップをしないでコストを下げる一方法として、グラフト樹脂のグラフト率を下げて、この下げた分をポリエチレンをブレンドしておきなう方法を考えた。この方法で耐衝撃PVCを製造するとコストは105円/kgとなり、在来品と充分競争できる値段となる。

終りに物性評価に多大の御協力をいただいた東海研究所フッ素化学研、鈴木和弥氏にあつく感謝いたします。

## 9. 参 考 文 献

- 1) Lang, H.J., Chem. Eng., 53, Oct., 117 (1947)
- 2) Chilton, C.H., Chem. Eng., 55, June, 49(1949)
- 3) Lang, H.J., Chem. Eng., 54, June, 112 (1948)
- 4) Bach, N.G., Chem. Eng., 64, Sept. 22, 155 (1958)
- 5) Guthrie, K.M., Chem. Eng., 75, March 24, 114 (1969)
- 6) Winter, O., Ind. Eng. Chem., 63, No.4, 45 (1969)
- 7) 吉田, 鈴木, 荒木他 JAERI-M 4796 (1972)
- 8) 吉田, 鈴木, 荒木他 JAERI-M 4889 (1972)
- 9) ポリ塩化ビニルの改質用パイロット装置 (1968)
- 10) Williams, P, Jr., Chem. Ind. 61, 622 (1947)
- 11) Chilton, C.H., Chem. Eng., 56, Apr., 112 (1950)
- 12) 化学装置, 10, No.9, 52 (1968)