

# 発泡製品再生利用における低環境負荷型成形技術の研究

西元研了\*, 新村孝善\*\*

## Study on Forming to Minimal Environment Load on Form Products Recycling

Kenryo NISHIMOTO and Takayoshi SHINMURA

使用済み発泡スチロールの処理技術として、溶剤減容物から発泡性成形材料を常温押出成形し、発泡バラ状緩衝材などの包装用材料に再生する技術を検討した。発泡スチロールを二塩基酸エステル系溶剤で減容した塊状の減容物から発泡性成形材料を調製する処理条件を明らかにするため、樹脂-減容剤-発泡剤3成分系の相平衡を調べ、ストランドダイやスリットダイから押出成形するのに適した組成物の溶剤含有量を検討した。得られた発泡性成形材料の発泡性と再生された発泡体の物性を調べ、発泡性バラ状緩衝材としての用途を想定して棒状と板状の2種類の発泡体を試作した。

**Keyword :** Expanded polystyrene, Recycling, Volume reducing agent, Extraction

### 1. 緒言

発泡スチロールは断熱性、緩衝性に優れた材料として、農水産容器や緩衝包装材などに多く用いられている。使用済みとなったものは、主として事業所から廃棄され、素材もほとんど単一であるため、分別・回収は容易であるが、嵩張るという欠点があり、収集・搬送の効率が悪い。そのためリサイクルでは発生源または中間集積場において、加熱・圧縮や溶剤による減容が行われることが多い。減容物は再生原料として有効利用されることが望ましく、より低コストで高品質なリサイクルのための技術開発が続けられている。

当センターでも使用済み発泡スチロールを再び家電製品などの緩衝材として再利用する完全循環型リサイクルを目指した研究開発に取り組んできた。これまでに、溶剤による減容物に常温での発泡剤含浸処理を行い発泡性ビーズを調製する新規な方法を考案し<sup>1)2)</sup>、ダイフェイスカットで粒状化し再生発泡性ビーズを製造する試験プラントを開発し、通常のビーズ法発泡成形で梱包材や容器などの再生品を試作した<sup>3)4)</sup>。さらに、より効率的に発泡性ビーズに粒状化する方法を検討し、工程改善のための研究を行った<sup>5)</sup>。

本研究では、原料に除去困難な砂や木片など異物が含まれているようなものについても、より低コストで再生原料として利用できるような再生技術の開発を目指し、処理工程で粒状化を経ることなく、溶剤減容物から発泡性成形材料を常温押出成形し、バラ状緩衝材などに利用可能な発泡材に再生する技術を検討した。

### 2. 実験方法

#### 2.1 減容剤

減容剤には、商業生産されている代表的な高沸点溶剤の一つであるDBE (DiBasic Esters, INVISTA社製)を使用した。ナイロンの中間体であるアジピン酸を生産するプラントで生成する混合酸から製造される、コハク酸ジメチル20%、グルタル酸ジメチル59%、アジピン酸ジメチル21%の二塩基酸エステル溶剤である。蒸留範囲は196~225℃、蒸気圧は0.2mmHg (20℃)、引火点 (タグ密閉式) は100℃である。

また、塗料やインキ、接着剤などの製造において、ポリマーの溶剤選択での有用な指標となるハンセン溶解度パラメータ (単位 (MPa)<sup>1/2</sup>) は、分散項  $\delta_d$  17.0、極性項  $\delta_p$

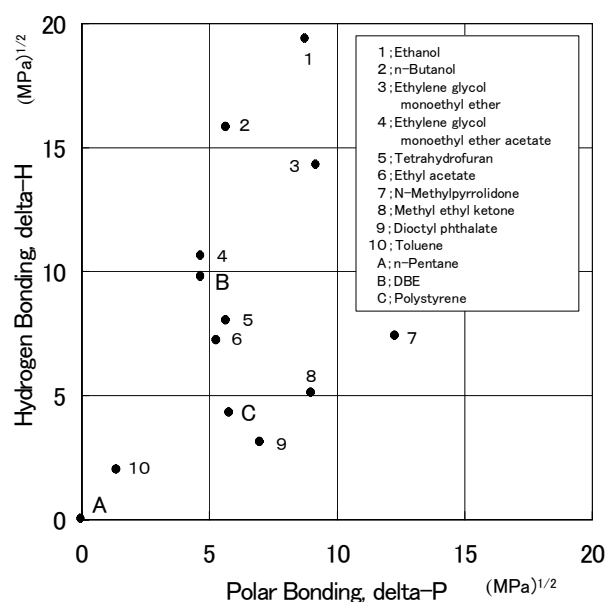


図1 溶剤の溶解度パラメータ

\* 化学・環境部 (現 食品工業部)

\*\* 化学・環境部

4.7, 水素結合項  $\delta_h$  9.8であり,  $\delta_p$ と $\delta_h$ を他の一般的な溶剤と比較すると図1のとおりである<sup>6)</sup>。

2. 2 樹脂-減容剤-発泡剤の分配平衡

分配平衡の実験では, 発泡スチロールの樹脂成分であるポリスチレン樹脂 (PS) と減容剤DBE, 発泡剤ペンタンの3成分を50mL容スクリー管瓶に入れ, 時々振とう攪拌しながら25°Cで相平衡に達するまで4日間放置した後, ポリマー相と液相を秤量し, 振動式密度計を用いて液相の密度を測定し, 密度から液相の組成 (DBE-Pentane) を求めた。ポリマー相については, 加熱減量法により溶剤の含有量を測定し, 物質収支からポリマー相の組成 (PS-DBE-Pentane) を求めた。

2. 3 発泡成形材料の調製と発泡試験

発泡スチロール成形工場から入手した40倍発泡のビーズ法発泡スチロールを原料として, これを常温でDBEと接触させ膨潤軟化させることで脱泡し, 減容処理した。減容物 (DBE 150phr) (phr; parts per hundred parts of resin, PS樹脂を100とした重量部) について, ペンタンを抽剤として攪拌翼混合及びニーダー式ミキサー (ブラベンダー社製プラスチックダ PL2000-6) で混合攪拌し, 減容物からDBEを抽出し, ペンタンを含浸し発泡性組成物を調製した。抽剤比や抽出時間を変えて操作し調製したペンタン10~25 phr, DBE 10~40phrの組成物を, 厚さ3~10mmの板状に成形した。この発泡性成形材料を沸騰水上で水蒸気加熱し, 得られた発泡体の形状と水中置換密度を測定した。

2. 4 発泡体の物性試験

包装用発泡バラ状緩衝材としての用途を想定し, 発泡体の圧縮特性を評価した。厚さ10mmの板状の発泡性成形材料 (ペンタン10~20phr, DBE 10~20phr) を水蒸気加熱して得られた発泡体から30mm×30mm×19mmの直方体の試験片を切り出し, 温度23°C, 相対湿度50%において16時間以上状態調節を行った。試験は同じ温湿度の室内で行った。試験装置はオートグラフAGS-5kNB ((株)島津製作所製) を使用し, 平板圧縮試験を行った。試験速度1 mm/minで試験片に荷重を加え荷重及び変位を記録した。圧縮ひずみ5%における荷重から5%圧縮強さを求め, 35倍発泡の発泡スチロールと比較した。

2. 5 発泡体の試作

発泡体を包装用発泡バラ状緩衝材として利用可能な形状に成型するため, 厚さ約3 mm, 幅7 mmの扁平な紐状の発泡性成形材料を調製し, 水蒸気加熱して棒状と板状の2種類の発泡体を試作した。棒状の発泡体は紐状の発泡性成形材料を長さ15mmに切断し, ステンレスメッシュ (100 #) で作成した内径11mm, 長さ50mmの筒状の型内で発泡させた。また, 板状の発泡体は紐状の発泡性成形材料を長さ7mmに切断した後に形状を規制することなく発泡させることによ

って得られた。

3. 結果及び考察

3. 1 樹脂-減容剤-発泡剤3成分系の相平衡

分配平衡に達したと考えられる3成分系の25°Cでの相平衡データを図2の三角線図に示す。なお, DBE-ペンタン2成分系には相互溶解度があり, 25°Cでペンタン中のDBEは27%, DBE中のペンタンは24%である<sup>3)</sup>。平衡後に減容剤含有量が比較的大きな, 軟らかいポリマー相となる成分組成での相平衡については, これまでにも報告されているが, 今回の実験で5 phr以下となるような成分組成での相平衡についてもデータを得ることができた。

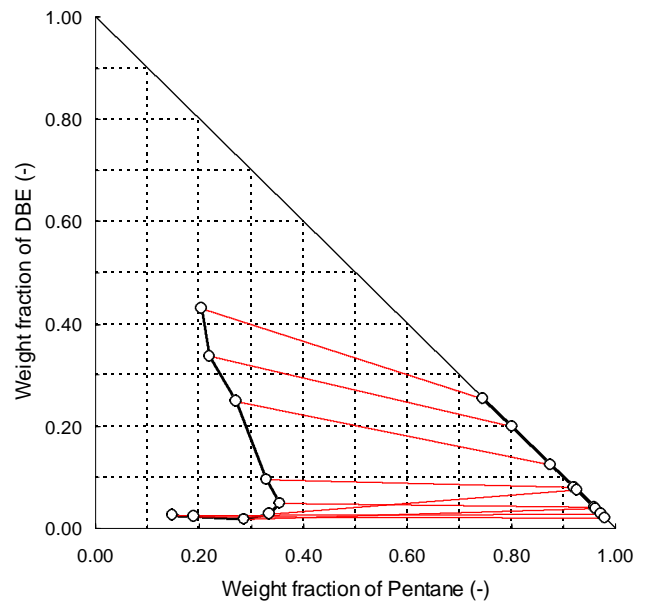


図2 PS-DBE-Pentane系の相平衡 (25°C)

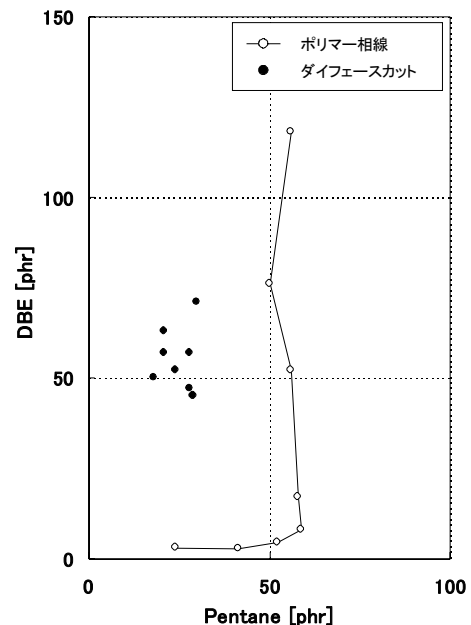


図3 PS-DBE-Pentane組成物の成分組成

樹脂-減容剤-発泡剤3成分の組成物を、常温でギアポンプ（吐出圧最大10MPa）を使ってペレット製造装置 PASC-21（田辺プラスチック機械（株）製）に圧送し、1mmφ12穴ダイからの吐出をダイフェースカットで粒状化することを試みた実験で、押出・粒状化が可能であった組成物の成分組成を図3に示した。粒状化に適した組成はDBE 45~70phr、ペンタン 20~30phrで、このときの吐出圧力は3~4MPa、吐出量は0.7~1.5kg/hであった。

PS樹脂は溶剤で膨潤すると軟化温度が低下する。溶剤を含まないPS樹脂の軟化温度は約100℃であるが、DBEの添加によって軟化温度が低下し、8phrのDBEを含むと軟化温度が約40℃となり、18phrで約20℃、30phrで約10℃となる<sup>3)</sup>。

2mmφ以上のストランドダイまたはスリットダイを使い、常温で紐状またはシート状に押出成形する場合、溶剤含有時のPS樹脂の軟化特性、押出での流動特性から、適した成分組成は、DBEとペンタンを合計した溶剤含有量で20~50phr（ペンタン15~30phr、DBE 5~30phr）であると考えられる。

### 3.2 発泡成形材料の発泡性

樹脂量の1.5倍のDBEを含む減容物を、攪拌翼混合及びニーダー式ミキサーでペンタンを抽剤としてDBEの抽出を行い、ペンタン10~25phr、DBE 10~40phrの組成になるように調製し、厚さ3~10mmの板状に成形した発泡性成形材料の発泡性試験を行い、組成や厚さと発泡性の関係を調べた結果を図4、5に示す。ペンタンの含有量は、10phr程度と20~25phrを比較しても大きな差は見られず、10phr程度で十分である。DBEの含有量は小さいほどよく発泡し発泡体の密度は小さくなった。実用的にはDBE 20phr以下が望ましいと考えられる。

### 3.3 発泡体の圧縮特性

発泡体の圧縮特性試験では、発泡剤10~20phr、減容剤10~20phrの発泡性成形材料から得られた6つの試験片で5%圧縮時の荷重を測定すると0.1~0.4MPaとなった。測定値のばらつきが大きい、平均で0.26MPaという値が得られ、比較試料とした35倍発泡スチロールでは0.2MPaであったことから考えて、圧縮強度は、緩衝材として利用可能な範囲にあると考えられる。

### 3.4 発泡体の試作

扁平な紐状の発泡性成形材料を水蒸気加熱して得られた棒状と板状の2種類の発泡体を図6に示した。型内発泡を行った棒状発泡体は、発泡倍率が約14倍で比較的硬質であった。形状を規制することなく発泡させた板状発泡体は、表面に凸凹があり形状もやや不規則となったが軟質で発泡倍率は約30倍であった。いずれについても比較的容易に発泡成形することができた。

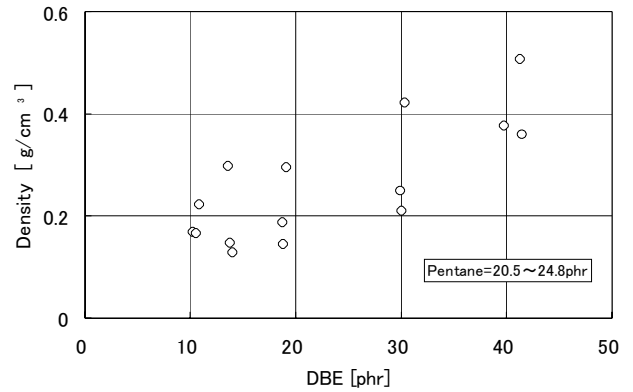


図4 DBE量と発泡体密度の関係

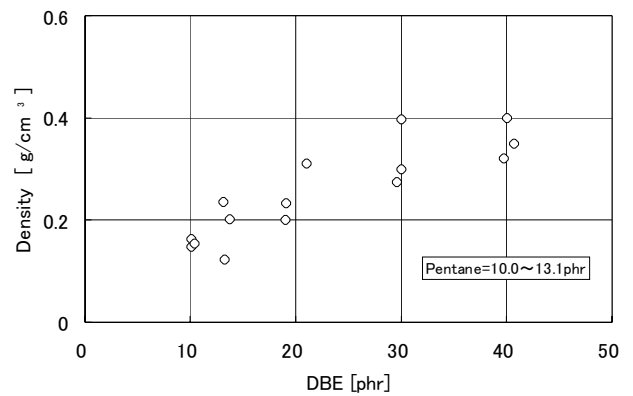


図5 DBE量と発泡体密度の関係

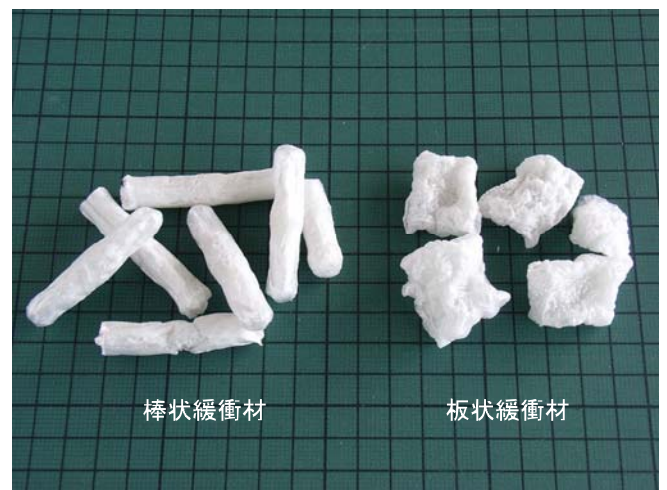


図6 試作した緩衝材

## 4. 結 言

溶剤減容物から発泡性成形材料を常温押出成形し、バラ状緩衝材などの発泡材に再生する技術を検討し、発泡性成形材料を調製する処理条件、その発泡性と再生された発泡体の物性を調べた。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 樹脂-減容剤-発泡剤3成分系の相平衡, 溶剤含有時のPS樹脂の軟化温度, ダイフェースカットでの押出特性から適した成分組成は, 減容剤と発泡剤を合計した溶剤含有量で20~50phr (減容剤5~30phr, 発泡剤15~30phr) であると考えられたが, 発泡性試験の結果から減容剤20phr以下, 発泡剤は10phr程度が望ましい。
- (2) 発泡剤10~20phr, 減容剤10~20phrの発泡性成形材料から得られた発泡体の5%圧縮時の荷重は, 緩衝材として利用可能な0.1~0.4MPaであった。
- (3) 扁平な紐状の発泡性成形材料を水蒸気加熱して試作した棒状と板状の発泡体は, 棒状が比較的硬質で発泡倍率が約14倍, 板状はやや軟質で発泡倍率は約30倍であった。
- 以上のように, 除去困難な異物混入のあるような原料についても, 再生原料として利用できる再生技術として, 処理工程で粒状化を経ることなく, 溶剤減容物から発泡性成形材料を常温押出成形する条件が明らかになった。再生した発泡性成形材料からの発泡体は, 発泡バラ状緩衝材など

に利用できる可能性を見出した。

#### 参 考 文 献

- 1) 西元研了, 仮屋園広幸, 濱石和人: 鹿児島県工業技術センター研究報告, **13**, 35 (1999)
- 2) 西元研了, 仮屋園広幸, 濱石和人: 国際公開 WO 01/68759 (2001)
- 3) ”平成12年度地域新生コンソーシアム研究開発事業「使用済み発泡スチロールの完全循環型再生技術及び処理装置の開発」成果報告書”, NEDO (2002)
- 4) 西元研了, 神野好孝, 濱石和人: 鹿児島県工業技術センター研究報告, **15**, 25 (2001)
- 5) 西元研了, 神野好孝: 鹿児島県工業技術センター研究報告, **17**, 17 (2003)
- 6) Wesley L. Archer: ”Industrial Solvents Handbook”, Marcel Dekker (1996) p. 35