

発泡ポリスチレンの再生処理技術に関する研究

- 減容物の溶媒抽出と抽残物の粒状化 -

化学・環境部 西元研了，神野好孝，濱石和人*

Recycling Technology of Expanded Polystyrene

- Solvent Extraction from Compacted Material and Granulation of Raffinate -

Kenryo NISHIMOTO, Yoshitaka KAMINO and Kazuto HAMAISHI

常温常圧のプロセスで使用済み発泡ポリスチレンから発泡性ビーズを製造する新技術の実用化を目指し、試験プラント設計に必要なエンジニアリングデータの収集を目的として、減容剤抽出、発泡剤含浸の工程に関する混合攪拌試験と粒状化試験を行った。減容剤で減容処理された発泡ポリスチレンからの減容剤の抽出に関し、ペンタンを抽剤としたときの抽剤比と抽出率の関係を明らかにした。減容物の粒状化に関しては、ダイフェイスカット装置の適性を確認し、貧溶媒噴射が粒状物の互着防止に有効であることがわかった。

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

1. 緒言

発泡ポリスチレンは、軽量性、断熱性に優れたプラスチック材料として緩衝材、鮮度保持容器、断熱材などに広く用いられている。現在製品は、ほぼ100%バージン材を原料に製造されているが、特に緩衝材や土木建築分野の製品では、循環型社会への対応、発泡ポリスチレンのエコ製品化のための水平リサイクルによる再生材利用、すなわち発泡ポリスチレンから発泡ポリスチレンへの低コストで実用可能な再生技術の確立が、業界としても急務となっている。

発泡ポリスチレンは、排出源のほとんどが特定の事業者であり、分別も比較的容易であることから、業界団体などによる回収・処理のシステムも整備されつつある。しかし、その再生のほとんどは、日用雑貨等のポリスチレン製品へのカスケード型リサイクルであり、水平リサイクルが可能となる発泡性ビーズへの再生は、統計上表れていない。既存の方法では、発泡性ビーズへの再生はバージン材の2倍程度のコストがかかり、このことがその普及を妨げている。

当センターでは、使用済み発泡ポリスチレンの水平リサイクルを可能とする、低コストで高品質な再生発泡性ビーズの製造技術の開発に取り組み、使用済み発泡ポリスチレンを溶剤減容し、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た^{1), 2)}。

本研究は、この新技術の実用化を目指し、減容物からの減容剤の抽出、粒状化、粒状物への発泡剤含浸という操作が行われる試験プラントの設計に必要なエンジニアリングデータの収集を目的として行ったものである。減容剤で減

容処理された発泡ポリスチレンから、溶媒抽出で減容剤を抽出し、これをビーズ状に粒状化する工程に関する実験として、混合攪拌試験と粒状化試験を行った。

2. 実験方法

2.1 減容物とペンタンの混合攪拌試験

2.1.1 攪拌装置

綜研化学製Hi-Fミキサーを使用し、発泡ポリスチレン減容物とペンタンの混合攪拌試験を行った。抽出槽は3L(ガラス製149.5 × 250H, 邪魔板3枚付)で、攪拌翼は図1に示す複合翼である。攪拌翼は、下段に外端部を後退羽根に形成した矩形の垂直パドル翼、上段に楕円形を長軸、短軸で4分割した形である四半楕円形状の4枚の平板を、回転軸に対して45度傾斜して配置した平板翼で構成されたものである。この攪拌翼は、上下方向に強い循環流を形成し、広い粘度域で優れた攪拌混合特性を有するとされている³⁾。

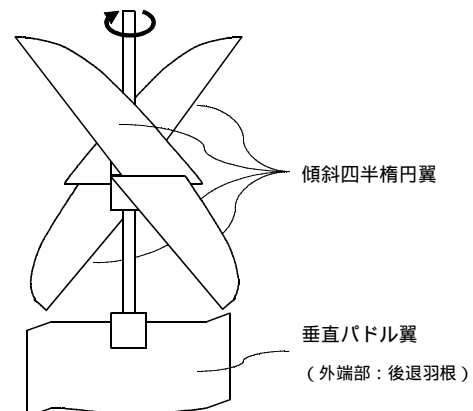


図1 攪拌翼 (Hi-F翼)

*素材開発部

2.1.2 攪拌操作

発泡ポリスチレンの減容物を抽料，ペンタンを抽剤として攪拌混合試験を行った。抽料とした減容物は二塩基酸メチルエステル系溶剤（スタイロソルブSS6000，スタイロジャパン製）を減容剤として用いて発泡ポリスチレンを収縮脱泡したものであり，その組成はPS 38wt%，減容剤62wt%である。抽剤比と攪拌速度を変えて表1に示す混合攪拌試験を行った。試験温度は25～29℃であった。

攪拌途中で抽出相を少量サンプリングし，振動式密度計（DA-110，京都電子工業(株)）を用いて密度を測定し，密度から抽出相中の減容剤濃度を求めた。攪拌終了時に抽残物を秤量し物質収支を計算した。また，抽残物については，加熱減量法でペンタン及び減容剤の含有量を測定した。

表1 複合翼での攪拌試験条件

Run No.	抽剤比		攪拌速度		攪拌時間 [min]
	対抽料	対抽質	回転数[min^{-1}]	周速[m/s]	
1	1.8	2.9	50	0.26	120
2	0.9	1.5	50	0.26	210
3	0.9	1.5	150	0.79	60
4	3.0	4.8	150	0.79	60
5	1.8	2.9	150	0.79	60
6	4.2	6.8	150	0.79	330

2.2 粒状化試験

樹脂ペレット製造で使われているダイフェースカット法の2種類の装置を用い，減容物をペンタンと攪拌混合し，減容剤含有量を低下させた減容物を試料として粒状化試験を行った。粒状化装置の概略を図2に示した。タイプAの装置としては，プランジャー押出機PR-360Q（森山製作所製）を，タイプBはペレット製造装置 PASC-21（田辺プラスチック機械製）を用いた。

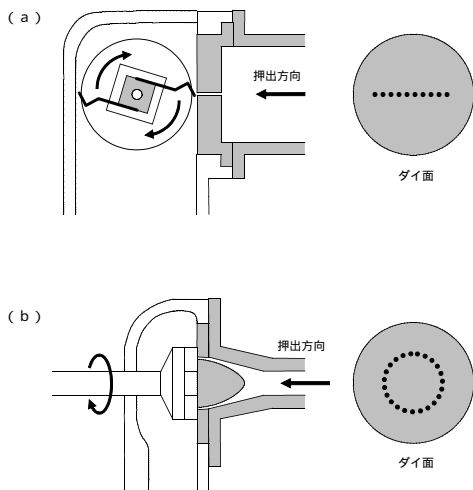


図2 粒状化装置 (a)タイプA，(b)タイプB

1) タイプA

ダイは，平坦な押出面を有し，複数のノズル穴が所定の間隔で直線状に並べて形成されている。ロータリーカッターは，その回転軸がノズル穴の配列方向と平行に取り付けられており，各ノズル穴から押し出された樹脂を回転刃で同時に掻き取るようにして切断する。

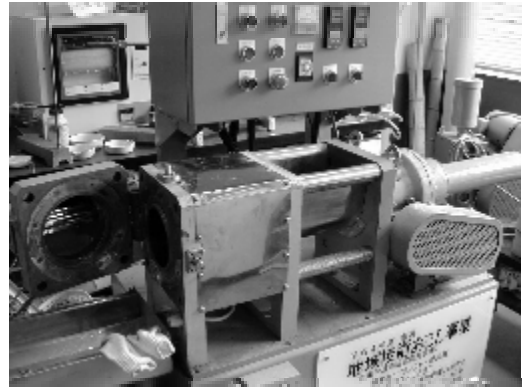


図3 プランジャー押出機

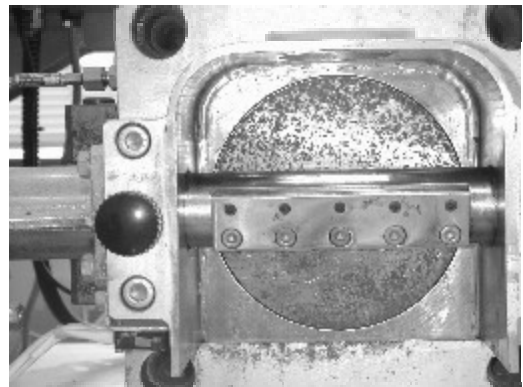


図4 カッター部正面

試験に用いたプランジャー押出機の写真を図3，4に示した。材質は，カッター刃が炭素鋼 SK3，ダイがクロム・モリブデン鋼 SCM440 表面窒化処理品である。ダイには直径2mmのノズル穴が4mmピッチで直線状に30穴形成されている。プランジャー押出機のシリンダー容量は3.6L，吐出量は0.2 L/min である。シリンダー部とダイヘッド部は電気ヒータでの加熱が可能であるが，今回の試験では加熱を行わず，常温で操作した。減容物をペンタンと攪拌混合し，溶剤含有量を低下させた減容物を試料として粒状化試験を行った。カッターボックスの下にペンタンまたはメタノールを入れた平皿を置き，落下する粒状物をこれに受け，形状等を観察した。

2) タイプB

ダイは，平坦な押出面を有し，複数のノズル穴が所定の間隔で円形に並べて形成されている。ロータリーカッターは，その回転軸が押出方向と平行に取り付けられており，各ノズル穴から押し出された樹脂を回転刃で順次掻き取る

ようにして切断する。カッター刃の近傍には回転軸内を通じて導入される液体または気体の噴射口があり、切断後の樹脂を冷却固化するために、通常カッター刃面及びダイ表面に水または空気を噴射しながら切断する。センターカットとも呼ばれる。

試験に用いたペレット製造装置 PASC-21は、スクリー押出機のヘッド部に取り付けて使用した。ダイには直径1mmのノズル穴が円状に8穴形成されている。スクリー押出機は加熱を行わず、常温で操作した。タイプAの装置での試験と同様に、減容物の粒状化を行い、粒状物の形状等を観察した。

3. 結果及び考察

3.1 抽出過程

抽剤比S/Fと攪拌翼回転数Nを制御因子として行った攪拌試験での抽出相の抽質濃度の経時変化を図5～8に示す。一般にアンカー翼、リボン翼、パドル翼などの低速回転型攪拌機は、0.5～3m/s程度の周速で通常使用される⁴⁾。今回の試験では0.26m/s(50min⁻¹)と0.79m/s(150min⁻¹)の周速について実験した。周速0.79m/sは、0.26m/sより特に抽出初期の過程で大きな抽出速度を示し、10分経過時の抽出量は0.26m/sの場合の1.8倍となった。また、抽出過程で抽出速度は2段階に変化し、周速0.79m/sでは10～15分、0.26m/sでは30～40分経過時に小さな抽出速度への遷移が見られた。

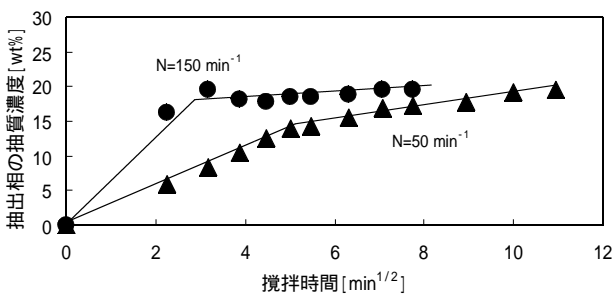


図5 抽出相濃度の変化(抽剤比S/F=1.8)

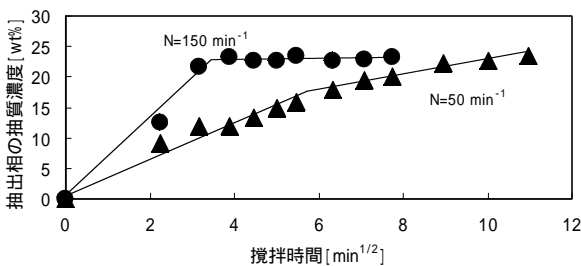


図6 抽出相濃度の変化(抽剤比S/F=0.9)

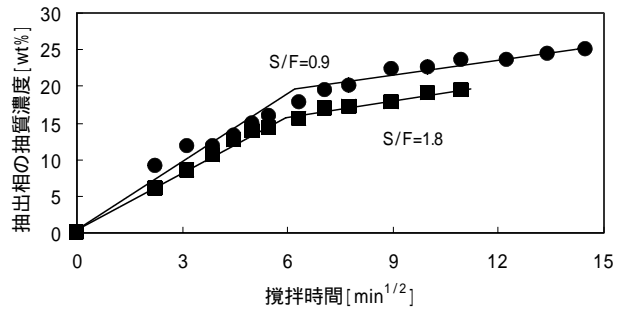


図7 抽出相濃度の変化(攪拌翼回転数N=50min⁻¹)

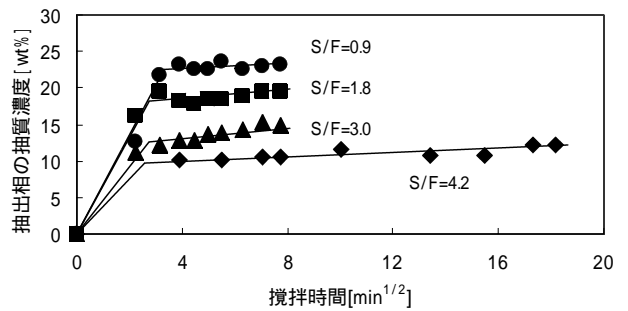


図8 抽出相濃度の変化(攪拌翼回転数N=150min⁻¹)

3.2 抽剤比と抽出率

仕込み時の抽料と抽剤の質量、抽料の抽質含有量、操作終了時の抽残物の質量、抽出相の抽質濃度から、PS(ポリスチレン)、SS(スタイロソルブSS6000)、P(ペンタン)の物質収支を計算した。

表2 物質収支(Hi-F翼, 単抽出)

Run No.	抽料			抽残物			抽出液	
	PS	SS	P	PS	SS	P	SS	P
1	100	163	474	100	64	64	99	410
2	100	163	237	100	108	70	56	167
3	100	163	237	100	113	71	50	166
4	100	163	789	100	33	49	130	740
5	100	163	474	100	65	68	98	406
6	100	163	1105	100	16	46	147	1059

表3 抽残物組成と抽出率(Hi-F翼, 単抽出)

Run No.	抽残物組成[phr]		抽出率[%]	
	SS	P	加熱減量法	物質収支
1	80	15	51	61
2	124	23	24	34
3	120	14	26	31
4	40	17	75	80
5	75	17	54	60
6	29	15	82	90

表2に示した物質収支は、PSを100とした重量部（phr； parts per hundred parts of resin）で記載した。表3に加熱減量法で測定した抽残物中の減容剤とペンタン濃度、加熱減量法測定値並びに物質収支計算値から求めた抽出率を示した。

攪拌翼の回転数を 150min^{-1} （周速 0.79m/s ）として抽剤比を変えて実験したRun 3～6の結果から抽剤比と抽残物中の減容剤濃度の関係を図9に示した。Run 6（S/F=4.2）は攪拌時間 330分の結果であり、他のRun 3～5が60分であるのと条件が異なるが参考値としてプロットした。抽残物中の減容剤SS濃度は、抽剤比が大きいくほど小さくなった。

周速 0.79m/s での抽出率を図10に示した。抽出率は抽剤比が大きいくほど大きくなった。抽剤比が3.0の条件では、抽出率は80%（物質収支計算値）、75%（抽残物の加熱減量法測定値）となった。

物質収支計算値により求めた値と抽残物の加熱減量法測定値による値に差異が生じているが、これは抽出相と抽残物の分離操作においてポリマー相に付着同伴または吸蔵さ

れた抽出相の量が、2つの測定法で異なっていたことに起因していると考えられる。短時間の静置による分離操作でポリマー相だけを抽残物として分離することはきわめて困難であり、ポリマー相に付着同伴または吸蔵された抽出相も含めて抽残物として分離されている。物質収支計算では攪拌終了後にデカンテーションで抽出相を排出し、残分を抽残物として秤量した。加熱減量法測定のサンプルは、攪拌終了時に抽残物に大型のスポイトを挿入し10ml程度を採取したものである。加熱減量法測定のサンプルは、物質収支計算での抽残物より多くの抽出相を含んでいたものと考えられ、図9に示すように加熱減量法測定による抽残物中の減容剤SSは、物質収支計算によるものより大きな値となり、そのため図10に見られるように抽出率はより小さな値となっている。

周速 0.79m/s での抽残物中のペンタン濃度は表3に示すように加熱減量法測定値で14～17phrとなり、抽剤比による変化は小さかった。加熱減量法測定での抽残物中のペンタン濃度は、表2に示した物質収支計算でのものよりかなり小さな値となっている。前述のように加熱減量法測定のサンプルは、物質収支計算での抽残物より多くの抽出相を含んでいたものと考えられるが、ペンタンの揮発性が極めて高く採取から測定までの間にポリマー相に付着同伴された抽出相のペンタンはほとんどが揮散したものとわれ、測定値はほぼポリマー相中のペンタン濃度を示していると思われる。

3.3 粒状化

使用したタイプAの装置は、カッター（2枚刃）回転数が 200min^{-1} 程度で粒状に切断されたが、列状に繋がって落下するものも多く見られた。高分子濃厚溶液である減容物は、粘弾性流体としてバラス効果によりノズル穴の出口でノズル穴径よりも直径が膨張することによると思われる。そこでダイに穴径2mmを4mmピッチで直線状に配列されていたノズル穴をひとつ置きに塞ぎ8mmピッチの配列にして同様に試験したところ、ほぼ球形に近い独立した直径4mm程度の粒状物が得られた。粒状物の飛散方向は主に下方であり、カッターボックス内での付着もわずかであった。

タイプBの装置は、ダイに円状に直径1mmの8穴が形成されていたが、押出機の吐出量とバランスを取るために2穴までノズル穴を減らした実験を行った。カッターを 800min^{-1} 程度の回転数で回転させると薄い円板状に切断された2mm程度の粒状物が得られた。この時の樹脂圧は14～16MPaであった。粒状物はカッター刃から全周に飛散するため、カッターボックス内での粒状物同士の互着が発生するが、ダイ面に油剤を噴射するとこれを防止できた。

以上のことからタイプA、Bの粒状化装置は共に、減容物の粒状化に利用可能であり、粒状物の凝着防止にカッタ

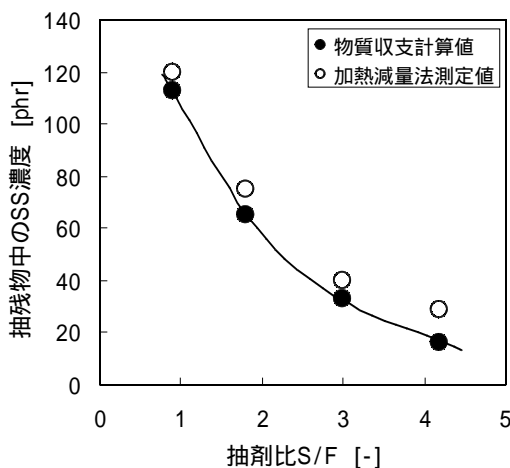


図9 抽剤比と抽残物中の減容剤濃度の関係

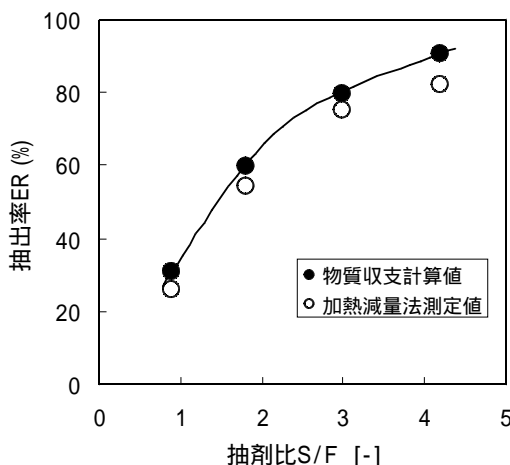


図10 抽剤比と抽出率の関係

ーボックス内の連続的な貧溶媒噴射が有効であることがわかった。

4. 結 言

減容物からの減容剤抽出操作に関して、減容物とペンタンの混合攪拌試験と粒状化試験を行った。その結果、次のことが明らかになった。

- (1) 減容物とペンタンの攪拌混合では、周速0.79m/sは、0.26m/sより抽出初期に大きな抽出速度を示し、10分経過時の抽出量は0.26m/sの場合の1.8倍となった。
- (2) 抽出速度は2段階に変化し、周速0.79m/sでは10～15分、0.26m/sでは30～40分経過時に小さな抽出速度への遷移が見られた。
- (3) 抽出率は抽剤比が大きいくほど大きくなり、抽剤比3.0では、抽出率が80%（物質収支計算値）、75%（抽残物の加熱減量法測定値）となった。
- (4) 粒状化装置タイプA穴径2mmでは、直径4mm程度の粒状物が得られ、カッターボックス内の付着もわずかであ

った。

- (5) 粒状化装置タイプB穴径1mmでは、2mm程度に切断できたが、全周に飛散しカッターボックス内での凝着が発生した。ダイ面への油剤噴射で、これを防止できた。

以上のように、減容物と発泡剤の混合攪拌試験では、回転数、抽剤比の影響を明らかにした。減容物の粒状化では、既存のダイフェイスカット法の装置の適性と粒状物の凝着防止法について有用な知見が得られた。

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)山本一己, 石川諭, 阿部克身, 城野三千男: 特許 第3224498号(1997)
- 4)化学工学協会編: "改訂二版化学装置便覧", 丸善(1989) p.778