シート状プラスチック片の静電分離

The Triboelectric Separation for Plastic Sheets

竹下 武成*, 渥美 邦夫**, 岩崎 由浩*, 原田 敏宏*

Takenari TAKESHITA, Kunio ATSUMI, Yoshihiro IWASAKI, Toshihiro HARADA

An apparatus for separating a specified plastic from other kinds was devised. It consisted of a triboelectric section and a separating section with both polarities. Various plastic sheets were frictionally electrified in the fluidized bed and then were blown off into the electrode unit, in which they were separated according to their own polarity.

The recovery of plastics was more than 70% beyond the electric field strength of 100kV/m, and the weight ratio of recovered plastics was more than 80% in the separation of the four kinds of plastics.

Key Words : Plastic Sheets, Static Electricity, Triboelectric Series, Electrostatic Separation, Blowoff Air Velocity

1. 緒 言

今、資源のリサイクルは、ごみ問題や資源の節約の観点から、その必要性が求められている。静岡県では紙産業が盛んで膨大な紙類が廃棄物として排出されている。排出される廃棄物は、主としてプラスチックがコーティングされている紙で、焼却処分すると発熱量が大きく燃焼炉を傷める上に、ポリ塩化ビニル等の塩素を含むプラスチックの場合は有害なガスを発生し、環境に悪影響を与える。これらの廃棄物をリサイクルするには、廃棄物中に含まれている紙とシート状のプラスチック類を分離し、さらにそのプラスチックを種類別に分離する必要がある。

プラスチックの分離には比重分離、溶剤溶解分離、熔融分離、摩擦帯電などを利用した静電分離などがある¹⁻³⁾。プラスチックの静電分離は、Kail & Salz社(ドイツ)がESTAプロセスにより混合廃プラスチックの分離に成功して以来、乾式であることと同一比重のものでも分離できることから注目されている⁴⁾。ま

た国内でも電線総合技術センターが、電線被覆材であるポリエチレンとポリ塩化ビニルの分離テストを行い、高い分離効果を得ている²⁾。しかし、これらの静電分離は球状、ホース状などに対するもので、シート状のものに対する分離技術はシート状プラスチックの重力落下が難しいため、まだ報告されていない。

そこで本研究では、異種のプラスチック細片を流動層で摩擦帯電させ、帯電状態を保ったまま電極部に飛散して分離捕集する装置を製作し、基礎実験を行った結果、回収率及び種類別枚数分率(純度)など分離に関する評価を検討したので報告する。

2. 分離の原理

二つの物質を摩擦帯電させると一方の物質が正に、もう一方が負に帯電する。これを異なった物質で繰り返していくと負帯電から正帯電まで物質相互の順列が決まる。これを帯電列⁵⁾と言い古くから知られているが、測定する雰囲気条件で順列が入れ替わる。プラスチックの比重等の物性はかなり類似しているが、プラスチック同士を摩擦すると必ず一方が正に、他方が負に帯電する。摩擦帯電させるには、流動層によって異なった粒子同士を摩擦帯電させる方法、固定壁と物質を摩擦して帯電させる方法³⁾などが考えられる。本研究で分離回収する物質はシート状プラスチック細片でそれらだけでは流動化は困難で、また固定壁との摩擦も行い難い。そこで本研究では、流動媒体として帯電列が二種類のシート状プラスチック細片の中間に位置

1997年6月13日受付

化学工学会第29回秋季大会(1996年9月、京都)にて一部発表

* 静岡大学工学部物質工学科

(〒432-8011 静岡県浜松市城北3-5-1) TEL 053-478-1168

Department of Materials Science and Engineering,

Shizuoka University

(3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011)

** 静岡大学工学部システム工学科

(〒432-8011 静岡県浜松市城北3-5-1) TEL 053-478-1205

Department of System Engineering, Shizuoka University

(3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011)

Table 1 Characteristics of plastic sheets

Materials	Density (kg/m ³)	Thickness (μm)
Polyvinyl chloride (PVC)	1410	40
Polyethylene terephthalate (PET)	1380	23
Polyethylene (PE) [black]	950	20
Polyethylene (PE) [transparence]	950	29
Polypropylene (PP)	910	29

Table 2 Characteristics of fluidized media

Materials	Particle diameter (mm)	Minimum fluidizing velocity (m/s)
Polyvinyl chloride (PVC)	1.2~1.7	0.320
Polyethylene (PE)	1.0~1.7	0.437
Polystyrene (PS)	1.0~1.7	0.290

Fig. 1 Outline of experimental apparatus (mm)

するプラスチック粒子を用い、複数種類の混合プラスチックを流動化し、摩擦帯電させる。正または負に帯電したシート状プラスチック細片のみを流動層上部にある電極部に飛散させ、それぞれ対応する電極に引き寄せて分離回収する。

3. 実験装置及び方法

実験装置の概略を **Fig. 1** に示す。装置は塔径 27.5 mm、塔高 400 mm の塩化ビニル製流動塔内で摩擦帯電を行う流動層部と、0~30 kV の範囲内で変化させることのできる平行電極板 (間隔 150 mm) でシート状プラスチック細片の分離を行う電極部に分けられる。なお流動塔上部で塔壁にシートの付着がみられたので、塔頂から 206 mm の間に 2 mm の穴を 48 個開け、空気を吹き込み、付着を防いだ。

Table 3 Experimental conditions

Air velocity at friction (m/s)	0.6
Air velocity at flying (m/s)	1.55, 1.60
Added voltage (kV)	5, 10, 15, 20

帯電防止剤 (スリーボンド[®]製パンドー 29A) を塗布して乾燥させた流動塔に、直流式除電器 (カスガ[®]製 KD-110) を用いて除電した被分離シート状プラスチック細片 (20 枚) と流動媒体 (20 g) を充填し、十分な混合状態を得るため気流速度をプラスチック細片が飛散しない範囲内でなるべく上限である流動媒体の流動化開始速度の 1.6 倍に設定し、またプラスチック細片の回収率が一定となる最短時間、すなわち 1 分間流動化させて摩擦帯電を行う。その後、被分離シート状プラスチック細片の飛散気流速度以上に流速を上げて平行電極板間に飛散させ分離捕集する。なお温度 20 ± 3 °C、相対湿度 40 ± 5 % の範囲で実験を行い、実験回数は 5 回で、後の回収率は 5 回の平均値を用いたが、誤差は ± 8 % であった。

被分離シート状プラスチック細片として市販のシートを 7 mm 角の大きさにカットしたものを使用し、物性については **Table 1** に示した。また流動媒体粒子はバージンプラスチックを粉砕したものを使用し、その物性を **Table 2** に、実験条件を **Table 3** に示した。

上記の方法で分離を行うにはプラスチック類の帯電列^{3, 5)}と、シート状プラスチック細片の飛散空気速度⁶⁾を知る必要がある。用いたシート状プラスチック細片及び流動媒体の内、二種類づつを摩擦帯電させた結果、**Fig. 2** に示すような帯電列を得た。

Materials	(-) ← Triboelectric position → (+)
PVC sheet	
PVC particle	
PET sheet	
PE particle	
PE sheet (black)	
PS particle	
PE sheet (transparence)	
PP sheet	

Fig. 2 Triboelectric series

Fig. 3 Blowoff air velocity for plastics sheets

Fig. 4 Recovery of PE (T) and PVC in the separation of two materials

Fig. 3 にシート状プラスチック細片の飛散空気速度を示す。飛散空気速度には幅があり、分離実験では最大値以上の気流速度で飛散させたが、飛散するものは瞬時に飛び出すが、塔壁に付着したものは流動媒体により剥がされて1分程度で飛び出すものと、永久に付着しているものがあった。

4. 実験結果と考察

4. 1 二種類のプラスチックの分離

分離の評価は次のように回収率を定義して、各電極板方向で回収されるべき種類について求めた。

$$\text{回収率 (\%)} = \frac{\text{一種類のプラスチックの回収枚数}}{\text{一種類のプラスチックの充填枚数}} \times 100$$

なお、後に三種類、四種類の分離の結果を示すが、二

Fig. 5 Recovery of PE (T) and PET in the separation of two materials

Fig. 6 Recovery of PE (T), PET and PVC in the separation of three materials (undischarged electricity at the secondary separation)

回目の回収率（最終結果）を求める場合の上式の分母は一回目で得られた枚数を用いた。

Fig. 4 に、PVC と PE (透明) の分離に対する回収率と電界強さの関係を示した。いずれのプラスチック細片においても 80 % 以上の回収率が得られており、クーロン力 (= 電荷量 × 電界強さ) により電界強さが大きくなると回収率も上昇する傾向にあるが、100kV/m を超えても回収率の増加はほとんど見られない。回収率が 100 % に達しないのは、電界強さが低い時には自重の影響もあるが、主にプラスチック細片粒子同士の接触により無電荷の中性に近づくこと、プラスチック細片の流動壁への付着、さらに流動塔壁との摩擦により逆方向に帯電することが原因と考えられる。Fig. 5 に、PET と PE (透明) の分離に対する回収率と電界強さの関係を示した。先述した PVC と PE (透明) の分離に比べると回収率は低く、PET と他のプラスチック細片の組み合わせにおいてもほぼ同様の結果が得られている。これは本実験で使用した PET が他のプラスチック細片に比べて、仕込み時における完全な除電ができないためと考えられる。

4. 2 三種類のプラスチックの分離

PVC, PET, PE (透明) の三種類のプラスチックを分離するために、先ず流動媒体として PE 粒子を用

Fig. 7 Recovery of PE (T), PET and PVC in the separation of three materials (discharged electricity at the secondary separation)

Fig. 8 Recovery of PVC, PET, PE (B) and PP in the separation of four materials

(a) Purity of PVC

(b) Purity of PET

(c) Purity of PE (B)

(d) Purity of PP

Fig. 9 Purity of recovered materials in the separation among PVC, PET, PE (B) and PP

いてPE (透明) と他のプラスチック細片を分離し、その後、流動媒体としてPVC粒子を用いてPVCとPETを分離した。**Fig. 6**にPVC, PET, PE (透明) の分離に対する回収率と電界強さの関係を示した。PET細片の回収率がかなり悪いのは、PVCとPETの分離に際して細片の除電を行わなかった結果であり、二回目の分離で直流式除電器を用いてプラスチック細片を除電した場合の結果を**Fig. 7**に示すが、かなりの回収率の向上がみられる。PET細片は、一回目の摩擦帯電でマイナスに帯電したものを二回目の摩擦帯電ではプラスに帯電させなければならないが、放電し難い性質を持っていて二回目の摩擦帯電前に他の粒子に

比べて十分放電されず、マイナスに帯電したものが残っているためと思われる。

4. 3 四種類のプラスチックの分離

PVC, PET, PE (黒), PPの四種類のプラスチックを分離するために、PE粒子を流動媒体に用いてPVCとPETのグループと、PE (黒) とPPのグループとに分け、その後、PVCとPETの細片をPVC流動媒体粒子を用いて、またPE (黒) とPPの細片をPS流動媒体粒子を用いて分離した。その結果を回収率と電界強さの関係を用いて**Fig. 8**に示したが、PET細片と電界強さ33kV/mを除けば、ほぼ70%以上の回収率が得られている。

次に分離回収されるべく目標の種類のプラスチック中に他のプラスチックが混在している割合、すなわち純度を調べるために、最終分離における単一電極側に回収されたプラスチックの各種類を枚数の分率で次式のように表した。

$$\text{枚数分率 (-)} = \frac{\text{一種類のプラスチックの回収枚数}}{\text{全種類のプラスチックの回収枚数}}$$

Fig. 9に、PVC、PET、PE（黒）、PPの分離回収を目的とした枚数の分率と電界強さの関係を示した。それぞれ目的の成分以外の混入割合は電界強さ33kV/mを除けば、はば20%以下の枚数分率となっている。Fig. 9の(a)、(b)はPVCとPETを分離するための二回目の分離操作でそれぞれの電極に回収された枚数分率を示したものであるが、先述のようにPETの摩擦帯電に対する特異な性質のため、お互いに混在する割合が多くなっている。

5. 結 言

重力落下等の方法では分離の難しいシート状プラスチック細片を流動層で摩擦帯電させ、帯電状態を保ったまま直上の電極部に飛散させて分離捕集する回分式装置を製作して実験を行い、電界強さ100kV/m以上で回収率70%以上の結果が得られた。また四種のプラスチックの種類別分離ではそれぞれのプラスチックで80%以上の枚数分率（純度）が得られたことにより、帯電列中の流動媒体の選択により多種類中からの一種類の分離が可能であると考えられる。本装置を操作する場合、実験条件と同じ条件で帯電列を得ておく事と分離前に被分離粒子、流動媒体粒子、流動塔に十分な除電を施しておくことが必要である。

〔謝辞〕本研究の一部は（財）ホソカワ粉体工学振興財団の研究助成によって行われたものである。ここに記して感謝の意を表する。

References

- 1) Miyake, A.: "Recycling Technology and System-Polymer Recycle-", *Plastics Age, Japan*, July Special Number, 111-126 (1992)
- 2) Miyake, A.: "Equipment and Technology in Plastics Recycling", *Plastics Age, Japan*, July Special Number, 69-86 (1995)
- 3) Nakajima, Y. and T. Tanaka: "Triboelectric Separator for Plastics Sorting System", *The Micromeritics*, No. 28, 4-13 (1984)
- 4) Kleine-Kleffman, U., A. Hollstein and I. Stahl: "Electrostatic Separation Process for Mixed Plastic Waste", *Plastics, Japan*, **44**, 44-47 (1993)
- 5) Nagata, K.: "Static Electricity", p. 6, Baifukan (1987)
- 6) Hiram, T., M. Tomita, T. Adachi and M. Horio: "Rate of Combustion and Elutriation in a Fluidized Bed Coal Combustion", *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, **7**, 77-82 (1981)