シート状プラスチック粒子の連続静電分離

The Continuous Triboelectric Separation for Plastic Sheets

竹下 武成, 原田 敏宏, 武市 誠治, 齋藤 孝博

Takenari TAKESHITA, Toshihiro HARADA, Seiji TAKEICHI, Takahiro SAITO

An apparatus for continuously separating specific plastic from plastic mixtures was devised. The apparatus consisted of a triboelectric section and an electrostatic separating section according to their polarities. Various plastic sheets were frictionally electrified in the first fluidized bed and then introduced into the second fluidized bed where plastic sheets were blown off into the electrostatic separation unit. The recovery of plastics was more than 70% for polyvinyl chloride, and 80% for other plastic sheets. The purity of recovered plastics was more than 90% for polyvinyl chloride, and 70% for other plastic sheets. The separation performance of a continuous flow apparatus was slightly lower than that of batch operation.

Key Words : Plastic Wastes, Plastic Sheets, Triboelectric Separation, Electrified Time, Residence Time.

1. 緒 論

近年, 広く活用されているプラスチックは自然分解されることは少なく, また使用量増加により廃棄物としての処理が追いつかなくなり深刻な社会問題となっている。

廃プラスチック問題に対応する一つとして, 廃棄物を再資源化することが挙げられる。再資源化に対する処理技術には再生と再利用, 燃焼による熱エネルギーの利用などがある。しかし, 熱エネルギーに利用する場合に塩化ビニルなどの塩素を含むプラスチックは有害物質を発生することや, 再利用する場合には付加価値を高めるために純度が重要であることからプラスチックを成分別に分離する必要がある。

前報¹⁾でも述べたように, プラスチックに対する種々な分離方法があるが, 著者らが注目した静電分離²⁾は導電性, 帯電性, 誘電率などの差を利用してプラスチックの分離を行うもので, 乾式で同一比重のものでも分離できるという利点がある。近年では, プラスチックを成分別に分離するために静電分離を利用す

る方法として様々な報告がなされているが, 前報で紹介したもの以外をここに記述する。

Yanar ら³⁾はサイクロンを利用した摩擦帯電型の静電分離装置によるポリ塩化ビニル (PVC) とポリエチレン (PE) の分離を行い, PE については良い結果を得ている。井上ら⁴⁾は混合プラスチックから PVC を分離する静電的手法として4方式を比較検討しており, PVC の分離法としては摩擦帯電を利用した静電誘導型電界分離方式がもっとも有効であることを報告している。しかし, シート状のプラスチックに関する研究はほとんど見られない。これは, プラスチックシートが偏平で質量に対する表面積が大きいいため帯電量も大きく, その挙動が不規則なためである。

著者らはシート状プラスチック粒子を成分別に分離回収するために, 流動層と平行電極を利用した摩擦帯電型の静電分離装置を試作し, 回分式について前報^{1, 5)}で報告したが, 本報告では PVC の分離に対する連続式について記述する。なお, 原理については前報で述べたので省略する。

2. 試料の物性および実験条件

実験に使用した被分離プラスチックシートは PVC (ポリ塩化ビニル), PET (ポリエチレンテレフタレート), PE (ポリエチレン), PP (ポリプロピレン) の4種類, 流動媒体は PVC の1種類である。プラスチックシートの比重及び厚さを **Table 1** に示す。これらは

2000年1月6日受付
化学工学会第64年会 (1999年3月, 名古屋) にて発表
静岡大学工学部物質工学科化学工学コース
(〒432-8011 浜松市城北3-5-1) TEL 053-478-1168
Department of Materials Science and Chemical Engineering,
Shizuoka University
(3-5-1 Johoku, Hamamatsu-shi, Shizuoka, 432-8011)

Table 1 Characteristics of sheet particles

Plastic sheet	Specific gravity (—)	Thickness (μm)
PVC	1.41	40
PET	1.38	23
PE (black)	0.95	20
PE (transparence)	0.95	29
PP	0.91	29

Fig. 1 Triboelectric series of plastics (20 °C, 40 %)

製品として市販されているもので、実験には10mm四方の正方形のものを使用し、飛散速度¹⁾は0.7~1.0 m/sである。不純物を含まないバージンプラスチックを粉碎によって作ったPVC流動媒体粒子は篩径1.0~1.7mmであり、流動化開始速度は0.37m/sである。

実験に使用した被分離シート状粒子と流動体の帯電列をFig. 1に示す^{1, 6, 7)}。この帯電列は温度20℃、湿度40%におけるものであり、PVCシート状粒子と他のプラスチック粒子を分離するためには、PVC流動媒体粒子を使えばいいことが分かる。また、帯電列の順位は温度や湿度などの外的な条件によって変化するため、湿度及び温度は常に一定に調整する必要がある。湿度が高いときには帯電した電荷を放電してしまうため、湿度は低いことが望ましいが、低湿度に調整することは実際には困難であり、また湿度が低いときには流動層塔へのシート状粒子の付着が起きやすくなる。そこで、帯電列を調べた時と同じ条件で、温度は20±1℃、湿度は40±3%に調整して実験を行っている。本報告では、前報告¹⁾より後に得られた回分式による高効率のデータ⁵⁾、すなわち、シート粒子径10mm、帯電時間30秒、電界強さ67kV/m、シート充填量0.94cm²/cm³を参考にした。

3. 実験装置及び方法

3.1 予備実験

流動状態が良好で流動媒体の平均滞留時間⁸⁾がほぼ

Fig. 2 Relationship between mean residence time and u/u_{mf}

30秒になる帯電流動層の形状を予備実験より求めた結果、縦40mm、横80mm、流動層高さ60mmの流動層を採用した。

シート粒子と流動媒体は流動層内での挙動が異なるため、その滞留時間も異なると考えられる。シート状粒子の帯電時間（平均滞留時間）が30秒になる気流速度を求めるため、上述した帯電用流動層を用いて気流速度を0.59~0.74m/sまで5通りに変化させて、PVC媒体粒子とPVCシートの滞留時間を測定した。平均滞留時間の計算値は流動層内粒子質量を粒子供給量で割って求め、また、滞留時間は流動状態が安定した後、ホッパーと接続してある供給シュートにトレーサー粒子あるいはシート粒子を混入させ、流動層に入ってから出るまでの時間を測定した。

気流速度/流動化開始速度(u/u_{mf})とシート状粒子及び流動媒体の平均滞留時間の関係をFig. 2に示す。流動媒体の平均滞留時間は u/u_{mf} が最も小さい時には計算値⁸⁾よりも小さくなっているが、これは視的観察から流動化状態が不均一になることがみられ、粒子が移動しない部分が生じるためである。 u/u_{mf} が1.70以上の時に、平均滞留時間は計算値である30秒に近い値になっていて、粒子が均一に混合されていることが分かる。一方、シート状粒子の平均滞留時間は気流速度が大きくなるほど短くなっている。シート状粒子の滞留時間が最も大きい $u/u_{mf}=1.59$ では、流動媒体の流動化状態が悪く、シート状粒子は

Fig. 3 Outline of continuous apparatus with electrostatic separation

粒子層上部に留まっていることが観察された。このため流動媒体との摩擦も起きにくく、分離を行うのに十分な帯電量が得られていないと考えられる。また $u/u_{mf}=1.86$ 以上の時には、シート状粒子が気流に吹き上げられ層上部に停滞することが観察され、流動媒体としての摩擦も起きにくい。これらのことから、流動媒体として PVC 粒子を用いて静電分離を行うときの気流速度は、シート状粒子と流動媒体との混合が良好に起こる範囲で帯電時間が 30 秒に最も近い $u/u_{mf}=1.70$ 、すなわち 0.63m/s 付近が最適と思われる。

3. 2 連続実験

実験装置の概略を Fig. 3 に示す。実験装置は電極部と流動層部に分けられ、電極部は $200\text{mm} \times 300\text{mm}$ の銅製の電極板と電源で構成される。電源で交流電流を直流に変換し、電極板間に電圧を $0 \sim 30\text{kV}$ の範囲で印加する。流動層部はブロワー、流量メーター、上述した寸法の塩化ビニール製帯電用流動層と、塩化ビニール製分離用流動層から構成され、これらをつなぐ配管は塩ビ管を用いた。なお、配管およびホップ等はアースを施してある。また、流動層の内壁が摩擦帯電するとシート状粒子の付着が起きやすくなるため、内壁に帯電防止剤を塗布した。

それぞれ除電処理されたシート状粒子 (200 枚) と流動媒体 (300g) をホッパーに充填した後、帯電用流動層へ流入させる。帯電用流動層でシート状粒子は流動媒体との摩擦により帯電した後溢流し、分離用流動層へ流入する。分離用流動層ではシート状粒子は気流により流動媒体と分離され、電極部に吹き上げられ、それぞれのシート状粒子は帯電した電荷の極性に応じ

Fig. 4 Relationship between recovery and combination of sheet particles

Fig. 5 Relationship between purity and combination of sheet particles

て電極板に引き寄せられ、流動層と電極板の間に落下し分離される。

流動媒体として PVC 粒子を用い、被分離シート状粒子の組合わせは PVC と PET、PE (黒)、PE (透明)、PP の 4 通りであり、それぞれの成分について同数 (100 枚) のシート状粒子を使用した。シート状粒子の粒子径は 10mm のものを使用し、帯電用流動層のシート状粒子充填量が粒子層 1cm^3 当たり 0.94cm^2 程度 (10mm のシート状粒子では粒子層 100cm^3 当たり $90 \sim 100$ 枚) になるようにシート状粒子と流動媒体を供給した。気流速度は 0.63m/s とし、分離用流動層での気流速度は、シート状粒子が瞬時に飛散するように 2.0m/s とした。各シート状粒子 100 枚に対して次式で示す各成分の回収率と純度を求めた。

$$\text{回収率} = \frac{\text{目的の電極方向で回収されたシートの枚数}}{\text{実験開始時に充填したシートの枚数}}$$

$$\text{純度} = \frac{\text{目的とした種類のシートの枚数}}{\text{ある電極方向で回収されたシートの枚数}}$$

4. 実験結果と考察

回分式から得られたデータ^{1, 5)}を基にして電界強さを 67kV/m とし、流動媒体として PVC 粒子を用い、被分離シート状粒子の組合わせを 4 通りに変化させ分離を行った時の回収率を Fig. 4 に、純度を Fig. 5 に示す。いずれの組合わせでも PVC シートでは 75 % 以上、PVC 以外のシートでは 80 % 以上の回収率が得られた。この値は前報で得られた回分式での回収率よ

Fig. 6 Relationship between recovery and strength of electric field

りも低い、これは帯電用流動層において十分な帯電量が得られないうちに排出されるシート状粒子があることや分離用流動層において飛散せず流動媒体と共に排出されるシートがあるためである。また、純度はPVCシートについては90%以上の高い値が得られたが、PVC以外のシート状粒子は80~90%であった。PVC以外のシート状粒子の純度がPVCシートよりも低くなったのは、PVCシートは他のシート状粒子よりも重く、電極板に引き寄せられる前に他方の電極板と流動層の間に落下するものがあるためと思われる。

電界強さを4通りに変化させ、PVCシートとPETシートの分離を行った時の回収率をFig. 6に、純度をFig. 7に示す。電界強さが33kV/mのときには回収率、純度ともに僅かに低くなっているが、67kV/m以上であればほとんど差は見られない。しかし、電界強さが133kV/mのときには電極板に付着したシート状粒子が反対の電極方向へ飛散するという現象が見られた。これは、電界強さが大きいときには付着したシート状粒子が電極板から電荷を受け取り、反対の極性に帯電するためと思われる。この実験の結果は回分式装置における結果とほぼ同様の傾向を示していて、本研究で用いた連続式静電分離装置で、プラスチック

Fig. 7 Relationship between purity and strength of electric field

シートの連続的な成分別分離が可能であると考えられる。

5. 結 論

シート状プラスチック粒子を成分別に分離・回収するために、回分式装置において得られた操作条件を基に、流動層と平行電極を利用した摩擦帯電型の連続式静電分離装置を試作し、シート状プラスチック粒子の連続的な成分別分離を行った結果、分離可能であることを確認できたが、分離性能は回分式装置よりもやや低下した。流動媒体としてPVC粒子を用いた実験のみ行ったが、他の流動媒体を用いても気流速度などの実験条件次第で分離が可能であると思われる。

この装置では被分離シート状粒子を流動媒体との摩擦により帯電させているため、被分離シート状粒子同士の摩擦により帯電させる場合と異なり、被分離シート状粒子の混合比による分離性能の変化が少なく、リサイクルにおける原料混合比の調整は不要であると考えられる。また、多成分の分離であっても、2段階以上のプロセスにより可能となると考えられるが、帯電列の順位は温度、湿度などの外的な条件やプラスチックの成因や添加物によって変化するため、これらの条件を管理する必要がある。

References

- 1) Takeshita, T., K. Atsumi, Y. Iwasaki and T. Harada: "The Triboelectric Separation for Plastic Sheets", *J. Soc. Powder Technol. Japan*, **35**, 106-110 (1998)
- 2) Tore R & D: "Plastic Recycling Gijutu no Shintenkai", p. 47, Tore Research Center (1992)
- 3) Yanar, D. K. and B. A. Kwetkus: "Electrostatic separation of polymer powders", *Journal of Electrostatics*, **35**, 257-266 (1995)
- 4) Inoue, T., T. Tamakoshi, M. Tukahara, H. Arai and H. Maehata: "Development of Plastic Sorting Technology using Electrostatic Separation Method", Preprints of The Institute of Electrostatics, Japan; 339-340 (1996)
- 5) Harada, T., Y. Hiraiwa, S. Takeichi, T. Takeshita and K. Atsumi: "Electrostatic Separation for Plastic Sheet Particles", Preprints of 28th Annual Meeting of Union of Chemistry Related Societies in Chubu Area, Japan, p. 139, Hamamatsu (1997)
- 6) Nakajima, Y. and T. Tanaka: "Triboelectric Separator for Plastics Sorting System", *The Micromeritics*, No. 28, 4-13 (1984)
- 7) Nagata, K: "Static Electricity", p. 6, Baifukan (1987)
- 8) Kunii, D. and O. Levenspiel: "Fluidization Engineering", p. 73, John Wiley and Sons, Inc., U. S. A., Toppan Company, Limited (1969)