

論文

ペットボトルフレ - ク用静電選別装置の開発

殿谷保雄* 山本克美* 橋本欣也* 牧野晃浩** 木崎 勝*

Electrostatic separation system of a PET bottle in the form of flakes

Yasuo TONOYA, Kastumi YAMAMOTO, Kinya HASHIMOTO, Akihiro MAKINO
and Masaru KIZAKI

Abstract Waste PET bottles are converted into PET flakes as recycling materials in processing industry. Waste PVC bottle flakes are generally mixed into waste PET bottle flakes as an impure ingredient. It is indispensable for recycling PET bottles flakes to remove PVC bottles flakes from the mixed plastic waste. The authors describe some successful experiments for electrostatic separation of two-component mixtures of waste plastics obtained from processing industries in the form of PET and PVC flakes. The experiments were carried out with an electrostatic separation system comprised of feeding equipment, triboelectrical charging equipment, a pair of high voltage electrodes and five collecting trays. The experimental result is as follows. From a mixture of 98/2 PET flakes and PVC flakes, it has been possible to separate 76.5% of the PET material with an extract content of 99.995%.

Keywords static electricity, plastics, PET bottle, electrostatic separation, recycling materials

1. はじめに

近年、各種の使い捨て容器の増大、ならびに、自動車の軽量化等に伴って、プラスチック製品廃棄量は拡大の一途にある。1997年4月に「容器包装に係わる分別収集及び再商品化の促進等に関する法律（容器包装リサイクル法）」が施行されてから、プラスチックの大量使用メーカーは、プラスチック廃棄物の回収・再利用に本格的に取り組み始めた。プラスチック廃棄物の再利用に際しては、各種プラスチック単体への選別が不可欠である。例えば、回収したポリエチレンテレフタレート（PETと略）製ボトルからは、服、シャツ、マット等の繊維製品が再生品として製造されるが、原料中にポリ塩化ビニル（PVCと略）製ボトルが混入していた場合には、PVCが異物となるため、再生品の強度や色合い等の品質が低下する。また、再生品製造装置の加熱に伴って、PVCから発錆性の強い塩化水素ガスが発生するため、装置金属部分に傷みが発生しやすくなる等の問題も生じる。現在、

PETとPVCの分離・選別方法としては、近赤外線やX線透過率の差を利用する方式が考案され、一部で実用化されているが、選別精度に難点がある。従って、今回、PETとPVCの摩擦帯電順位による帯電状態の差^{1) - 3)}を利用して、両者を分離・選別する技術を確立するために、静電選別装置を試作し、選別実験を行った。

2. 試作静電選別装置

2.1 装置の構成および動作

試作した静電選別装置の構成を図1に示す。装置は装置制御部、試料供給部、試料荷電部、試料選別部から構成されている。装置の動作は次の通りである。

装置制御部は、装置の自動運転および個別機器の手動運転を制御する。試料供給部は、試料ホッパー内に投入したフレ - ク試料を、電磁振動式切り出しフィ - ダおよびロ - タリフィ - ダを用いて定量供給し、タ - ポプロウの空気流により試料荷電部に送出する。試料荷電部では、試料はコイル状の塩ビ製フレキシブルホ - スおよびサイクロン中を通過する時に摩擦帯電され、さらに、往復運動をする二次摩擦荷電装置によっても摩擦帯電される。

* 電気応用技術グル - プ

** 計測応用技術グル - プ

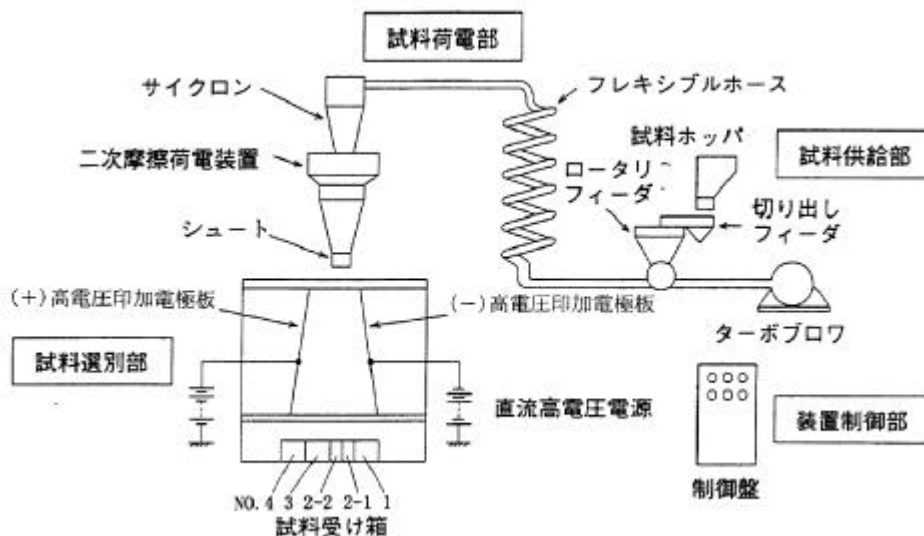


図1 試作静電選別装置の構成

その結果、PETフレ-クは(+)極性に帯電し、PVCフレ-クは(-)極性に帯電する。帯電したフレ-クは、試料荷電部出口のシュ-トから試料選別部に送られる。試料選別部では、帯電した試料を極性の異なる直流高電圧を印加した一対の電極板の間を通過させる。(+)に帯電したPETフレ-クは(-)高電圧印加電極板方向に引きつけられ、(-)に帯電したPVCフレ-クは(+)高電圧印加電極板方向に引きつけられる。このように、異なる極性に帯電したPETフレ-クおよびPVCフレ-クを、電界により互いに反対方向に偏向させて、各々の試料受け箱へ導いて選別する。

図1において、受け箱NO.1はPETフレ-クが吸引される電極側に設置され、受け箱NO.4はPVCフレ-クが吸引される電極側に設置されている。これらの間に、受け箱NO.2, NO.3が順に設置されている。なお、各受け箱の幅は同一であるが、受け箱NO.2はNO.2-1およびNO.2-2の二つに等分割されている。

2.2 電極板印加電圧

PETフレ-クとPVCフレ-クの選別効率を向上させるためには、選別用電極板が設置されている選別空間において、フレ-クに作用するクーロン力を大きくすることにより、フレ-クの偏向の度合いを増加させる必要がある。クーロン力増大は、フレ-クの帯電電荷量および電極板印加電圧を大きくすることによって達成できる。電極板印加電圧上限値は、(+)電極板と(-)電極板の最短間隔によって規定されるので、絶縁破壊を生じる直前の電圧を最大値として設定した。(+)電極板には30kV、(-)電極板には70kVの直流高電圧を印加した。

3. 実験方法

3.1 実験用試料

実験用試料は回収したPETボトルおよびPVCボトルから作成した。回収したボトルを水洗浄後に破砕機で破砕してフレ-ク状にし、再度、水洗浄後に乾燥させてから、目開き3mmのふるいにかけて、サイズの均一化を図った。フレ-クの形状は不定形であり、一片当たりの質量は約0.01gである。

3.2 帯電電荷量実験

静電選別装置のホッパに投入したフレ-クが塩ビ製フレキシブルホ-ス、サイクロンおよび二次摩擦荷電装置等の試料荷電部を通過した後の帯電電荷量を、ファラデー-ケ-ジ(測定系静電容量160pF)と静電電圧計(1,000/2,000V)により構成した測定器で求めた。試料収集用には操作用のアクリル把手棒を取り付けたPET製の容器(直径60mm, 深さ75mm)を用いた。この容器を、フレ-クが落下してくるシュ-ト直下に保持し、一定量が貯まった直後にファラデー-ケ-ジ内に移し替えて、静電電圧計の指示値を測定し、フレ-クの帯電電荷量を算出した。フレ-クの質量を電子秤で秤量した後、単位質量当たりの電荷量に換算した。

フレ-クの帯電電荷量は、摩擦相手の素材、摩擦強度等によって変化するので、サイクロンの種類、フレ-ク供給量、プロワの供給風量等を変化させたり、二次摩擦荷電装置内部に摩擦用媒体を付加した場合等について検討した。

3.2.1 サイクロンの種類

硬質塩ビ製サイクロン、内面に硬質塩ビシートまたは軟質塩ビシートを内貼りしたステンレス製サイクロンの3種類を試作し、各々のサイクロンを用いた場合のフレ-ク帯電量について検討した。

3.2.2 フレ-ク供給量

電磁振動式切り出しフィーダの振動数を変化させて、

フレ-ク供給量を100g/分~2,400g/分の範囲で変化させた場合のフレ-ク帯電量について検討した。

3.2.3 ブロワの供給風量

ブロワの駆動用モータをインバータ制御することによりモータ回転数を可変し、供給風量を5m³/分~25m³/分の範囲で変化させた場合のフレ-ク帯電量について検討した。なお、供給風量は塩ビホース出口における風速の測定結果から算出した。

3.2.4 二次摩擦荷電装置内部の塩化ビニル媒体

サイクロン下方に設けられた二次摩擦荷電装置内部に摩擦帯電量増加用の硬質塩ビ媒体(内径30mm、外形38mm、長さ25mm)を約40個入れた場合のフレ-ク帯電量の変化を検討した。

3.3 静電選別実験

PETフレ-クの中にPVCフレ-クを所定の割合で混合したものを実験用試料に用いて、静電選別実験を次の手順で行った。

ホッパに試料を投入し、静電選別装置の運転を開始する。

静電選別装置運転終了後、各々の試料受け箱内に選別されたフレ-クを別々に取り出し、各々、ステンレス製バットの中に入れ、恒温槽内部に設置する。

恒温槽の温度を200 に設定し、約1.5時間加熱する。この加熱処理により、PETフレ-クは変色せず、PVCフレ-クだけが黒変するので、以降の両者の識別作業が容易になる。

加熱処理終了後、バットを室温下で放冷する。

各々の試料受け箱毎に、以下の測定を行う。全試料質量を電子天秤で秤量する。PETフレ-クと黒変したPVCフレ-クを手作業で分別し、それぞれの質量を秤量する。

各々の試料受け箱毎に、PET純度、PET回収率、PET累積回収率を以下の定義により算出する。

$$PET \text{ 純度} = \frac{\text{所定の受け箱で回収した PET の質量}}{\text{所定の受け箱で回収した試料の全質量}}$$

$$PET \text{ 回収率} = \frac{\text{所定の受け箱で回収した PET の質量}}{\text{実験に使用した PET の全質量}}$$

$$PET \text{ 累積回収率} = \frac{\text{NO.1から NO.n までの受け箱で回収した PET の質量和}}{\text{実験に使用した PET の全質量}} \text{ ここで、} n = 1 \sim 4$$

4. 実験結果および考察

4.1 帯電電荷量

4.1.1 サイクロンの種類と帯電電荷量

実験結果を図2に示す。硬質塩ビシートを内貼りしたステンレス製サイクロンを用いた場合にフレ-ク帯電量は最も大きくなっている。さらに、硬質塩ビシートには可

塑剤がほとんど含まれていないので、長期間に亘って使用した場合でも、安定した摩擦帯電特性が得られる。従って、以下の実験では、硬質塩ビシートを内貼りしたステンレス製サイクロンを採用することにした。

4.1.2 フレ-ク供給量と帯電電荷量

フレ-ク供給量を変化させた場合の実験結果を図3に示す。フレ-クの帯電量は、供給量を増加するに従って低下していく傾向にあり、供給量が100g/分の時に最も大きくなる。この時の大きさは2,400g/分の時に比較して、2倍弱となっている。これは、単位時間当たりの試料供給量を小さくすることにより、フレ-クの分散性が向上する結果、摩擦面積が増加するためと考えられる。

4.1.3 ブロワの供給風量と帯電電荷量

ブロワの供給風量を変化させた場合の実験結果を図4に示す。フレ-クの帯電量は、供給風量の増加に伴い、大きくなる傾向を示した。また、供給風量を変化させた時のフレキシブルホース内部およびサイクロン内部におけるフレ-クの挙動を観察した結果、フレ-クは供給風量

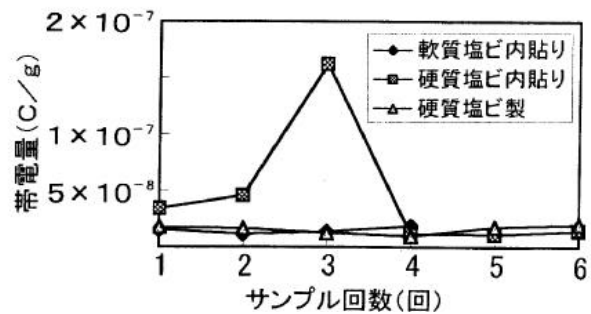


図2 サイクロンの種類と帯電量(実験条件:ブロワ供給風量25.5m³/分、フレ-ク供給量100g/分)

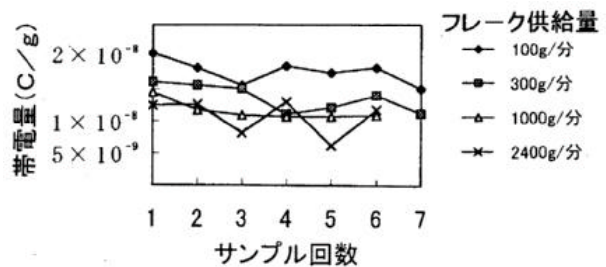


図3 フレ-クの供給量と帯電量(実験条件:ブロワ供給風量25.5m³/分)

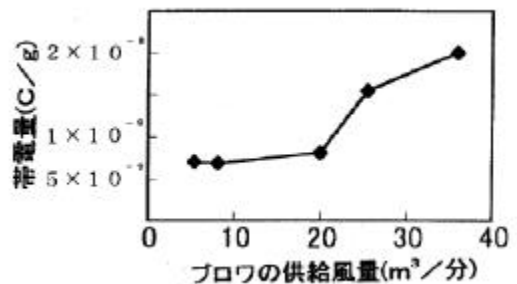


図4 ブロワの供給風量と帯電量(実験条件:フレ-ク供給量100g/分)

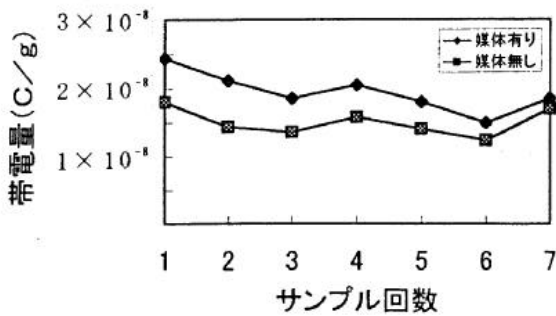


図5 二次摩擦荷電装置内の塩ビ媒体有無とフレ-ク帯電量(実験条件:ブロウ供給風量25.5m³/分,フレ-ク供給量100g/分)

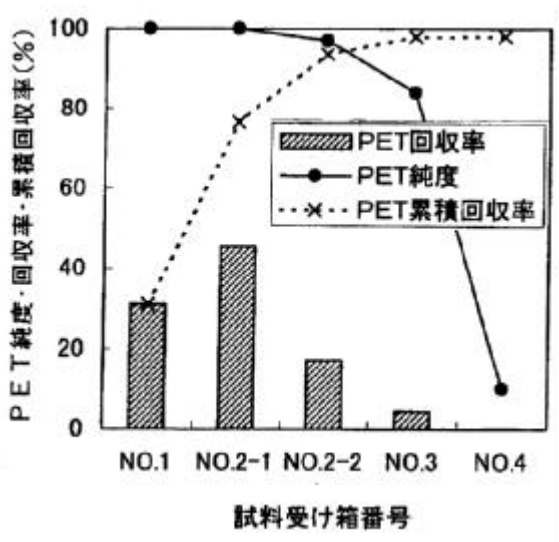


図6 静電選別実験結果

を多くするに従って、ホース内壁からより離れて移送される。一方、サイクロン内部では、フレ-クがサイクロン内面により強く押し付けられて螺旋運動をしながら下降していく。これらの現象から、フレ-ク帯電はフレキシブルホースよりもサイクロン内部での摩擦帯電が支配的であることが明らかとなった。

4.1.4 二次摩擦荷電装置と帯電荷量

二次摩擦荷電装置内部に硬質塩ビ媒体を入れた場合と入れない場合の実験結果を図5に示す。フレ-ク帯電量は媒体を入れた方が増加している。これは、フレキシブルホース及びサイクロン内部での帯電が不十分であったフレ-クが、二次摩擦荷電装置の往復運動に伴い媒体との間で接触剥離を繰り返すことにより、帯電量がさらに増加するためと考えられる。

4.2 PETフレ-クの回収

PETフレ-ク帯電量が最も大きくなる実験条件を設定して選別実験を行った。実験条件は、硬質塩ビ内貼りステンレスサイクロン使用、フレ-ク供給量100g/分、ブロウ供給風量25.5m³/分、二次摩擦荷電装置内部に塩ビ媒体挿入、(+)電極板印加電圧30kV、(-)電極板印加電圧70kVである。

PETフレ-ク980gとPVCフレ-ク20gを混合して1,000gの試料を作り、PVCフレ-クの混入率を2%に設定して選別実験を行った結果を図6に示す。図6の横軸には試料受け箱番号を示し、縦軸にはPET純度、PET回収率、PET累積回収率を示した。

受け箱NO.1に回収されたフレ-クのPET純度は100%で、PET回収率は31.0%であった。受け箱NO.2-1に回収されたフレ-クのPET純度は99.991%で、PET回収率は45.5%であった。受け箱NO.1と受け箱NO.2-1に回収されたフレ-クを合計した場合には、PET純度が99.995%、PET累積回収率は76.5%となった。

5.まとめ

今回、ペットボトルフレ-ク用の静電選別装置を試作し、選別効率の変動要因となるサイクロンの種類、フレ-ク供給量、ブロウ供給風量、二次摩擦荷電装置内部への塩ビ媒体挿入等について検討を行った。さらに、これらの検討結果を受けて、選別効率が最大になる実験条件を設定して選別実験を行った。その結果、回収したボトルから作成したPETフレ-クおよびPVCフレ-クを用いて、PVCフレ-クの混入率が2%の場合には、99.995%のPET純度で、76.5%のPET累積回収率が得られることが確認できた。なお、静電選別装置を用いて効果的に選別操作を行うためには、対象物体の大きさが均一に揃っていることが不可欠である。そのためには、ペットボトルを効率的に破碎する技術、および分級する技術が要求される。このように、静電選別技術は選別装置単独で成り立つものではなく、選別対象物体の前処理技術の確立が前提となっている。

参考文献

- 1) 殿谷保雄, 小野雅司: 静電気学会全国大会講演論文集, 307-310, (1991).
- 2) 殿谷保雄, 小野雅司: 東京都立工業技術センタ - 研究報告, 29-32, (1991).
- 3) 殿谷保雄: 東京都立工業技術センタ - 研究報告, 96, (1997).

(原稿受付 平成11年8月9日)