

論文

ペットボトルフレーク用静電選別装置の性能安定化

殿谷保雄* 山本克美* 重松宏志*

Stabilization of characteristics of an electrostatic separation system for PET bottle in the form of flakes

Yasuo TONOYA, Katsumi YAMAMOTO and Hiroshi SHIGEMATSU

Abstract Waste PET bottles are converted into PET flakes as recycling materials in a processing plant. 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 bottle flakes from the mixed plastic waste. The authors developed an electrostatic separation system for PET bottle flakes. The electrostatic chargeability of plastics is influenced by environmental conditions, such as relative humidity. When the relative humidity in the working area of the electrostatic separation system increases to more than 60%R.H., the charge quantities of flakes decrease. As a result, the separating efficiency falls drastically. The prevention methods against the lowering of separating efficiency are discussed. We tried to dehumidify the wet atmosphere in the working area by operating dehumidifier, and as a result the separating efficiency was improved. When the relative humidity of the atmosphere is controlled to be less than 45%R.H., the extract content is more than 99.99% and the recovery is over 70%.

Keywords Static electricity, Plastics, PET bottle, Electrostatic separation, Recycling

1. はじめに

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。

従来、筆者は PET と PVC の分離・選別方法として、摩擦帯電順位による帯電状態の差異¹⁻³⁾を利用して、両者を分離・選別する静電選別装置を試作し^{4,5)}、実験を行ってきた。プラスチックの帯電性は湿度条件の影響を受けるため、選別装置を運転する作業環境が高湿度になった場合には、PET や PVC の帯電電荷量が低下する結果、選別効率が低下する。このため、今回、高湿度環境下における選別性能低下を防止する方法について検討を行った。

2. 静電選別装置

ペットボトルフレーク用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。

試料荷電部で荷電されたフレークは試料選別部に送られ、(+)に帯電した PET フレークは(-)高電圧印加電極板方向に引きつけられ、(-)に帯電した PVC フレークは(+)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 フレークおよび PVC フレークを、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。

なお、(+)電極板には 30kV^{4,5)}、(-)電極板には 70kV^{4,5)}の直流高電圧を印加した。

3. 方法

3.1 実験用試料

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

3.2 帯電電荷量測定

静電選別装置のホッパに投入したフレークが塩ビ製フレキシブルホース、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、ファラデーケージ(測定系静電容量 160 pF)および静電電圧

*電気応用技術グル-ブ

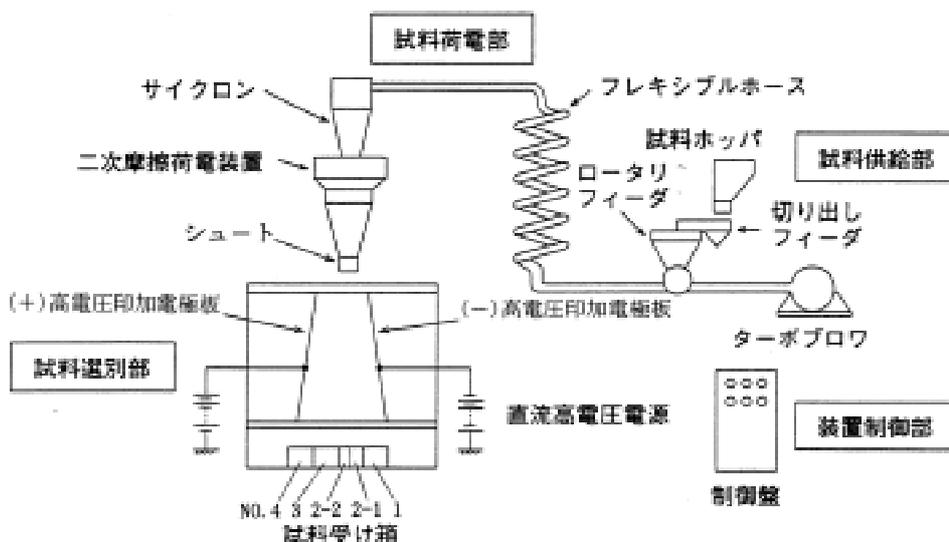


図1 ペットボトルフレーク用静電選別装置

計(1,000/2,000 V)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, フレークが落下してくるシュート直下に保持し, 一定量が貯まった直後にファラデーケージ内に移し替えて, 静電電圧計の指示値を測定し, フレークの帯電電荷量を算出した。フレークの質量を電子天秤で秤量した後, 単位質量当たりの電荷量に換算した。

3.3 静電選別実験

PET フレークの中に PVC フレークを所定の割合で混合したものを実験用試料に用いて, 静電選別実験を行った。

実験終了後, 各々の試料受け箱内に選別されたフレー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 200 に設定した恒温槽内部で約 1.5 時間加熱する。この加熱処理により, PET フレークは変色せず, PVC フレークだけが黒変する。PET フレークと黒変した PVC フレークを手作業で分別し, それぞれの質量を電子天秤で秤量して, PET 純度, PET 回収率を求めた。

3.4 フレークの帯電量向上の検討

(a) サイクロン加熱による方法

フレークは試料荷電部を通過中に帯電するが, ステンレス製サイクロン内部を巡回しながら下降してくる時に最も強く帯電する^{4, 5)}。

高湿度環境の下で, サイクロン内面に気中水分が付着した場合, この面に接触している摩擦荷電されたフレークの電荷が漏洩しやすくなる結果, フレーク帯電量は減少する。フレーク帯電量向上方法として, 図2に示すように, 熱伝導性の良好なステンレス製サイクロンの外側にリボンヒータを巻き付けて, 本体を加熱することによるサイクロン内面への気中水分付着を防止する方法について検討を行った。

リボンヒータは, 巾 27 mm, 長さ 6 m, 定格電力 1

kW のものを用い, 温度制御は入力電圧を制御することにより行った。

なお, サイクロン内部の閉鎖性を向上させて保温効果をも高めるために, サイクロン上部の開口部を覆うような形でカバーを取り付けた。



図2 リボンヒータによるサイクロンの加熱

(b) 乾燥空気供給による方法

図3に示すように, 試料供給部から乾燥空気を八ニカム乾燥空気供給装置により送り込み, フレーク及び静電選別装置帯電部内部の付着水分を除去することによるフレーク帯電量向上方法について検討を行った。

八ニカム式乾燥空気供給装置は, 水分吸着媒体にシリカゲルを使用し, この媒体を八ニカム構造体に付着させることにより, 比表面積を大きくすることで, 水分吸着量を増大させている。装置空気取り入れ口から取り込まれた空気は, 水分吸着媒体によって水分を除去された後, 相対湿度 10 % 以下の乾燥空気となって空気供給口から排出される。処理風量は約 2.2 m³ / 分である。この乾燥空気を試料供給部のホッパに塩化ビニル製ホースで導く。

なお, 試料供給部の閉鎖性を向上させて, 乾燥空気の外部への漏洩を防ぐために, 試料供給部の開口部を覆う



図3 八ニカム式乾燥空気供給装置によるフレーク供給部の除湿

ような形でカバーを取り付けた。

(c) 除湿器連続運転による方法

高湿度環境下において静電選別装置を運転するに当たり、局所的な気中水分対策を行ってフレーク帯電量向上を図る方法を3.4項及び3.5項で記したが、本項では気中水分対策を選別作業を行う部屋全体で実施する方法について検討した。

選別作業室内部に設置した除湿器4台を連続運転することにより、除湿操作を行った時のフレーク帯電量、選別効率等を求めた。なお、除湿器1台当たりの処理水分量は約0.6ℓ/hrである。

3.5 出窓型孔開き電極板採用によるフレーク付着防止の検討

静電選別装置を連続運転した場合、フレークが電極板に付着することがある。フレークは誘電体であるために、電極板に付着した場合、対向電極との間の電界強度が緩和される。その結果、フレークに作用するクーロン力が弱まり、選別効率が低下する。



図4 出窓型孔開き電極

このフレーク付着現象を防止する目的で、平板電極の代わりに出窓型孔開き電極板を採用して検討を行った。この電極板は、図4に示すように、平板電極の表面に多数の出窓が設けられたものであり、この突起物によって、フレーク付着を防止している。出窓の大きさは縦4×横14×高さ1mmであり、出窓の間隔は2mmである。

4. 結果及び考察

4.1 フレークの帯電量向上の検討

(a) サイクロン加熱による方法

室内温湿度が24℃、70%の高湿度環境の時に、サイクロン加熱実験を行った。リボンヒータの温度を30～70℃の範囲で変化させた時、サイクロンの内面温度は26～46℃の範囲で変化した。サイクロン内面温度に対するフレーク帯電量の実験結果を図5に示すが、フレークの帯電量向上は図られていない。

サイクロンは熱容量が大きいため、外部からの加熱に対する内面温度の上昇には限界があるが、サイクロン内面温度が外気温よりも高い場合には、内面への水分付着は防止できる。その結果、加熱の効果として、サイクロン荷電部におけるフレーク帯電荷漏洩は防止できる。しかし、実験結果からは、フレーク帯電量の向上は認められない。これは、高湿度環境下においては、フレーク

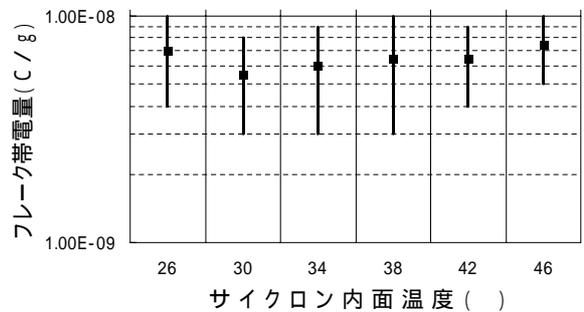


図5 サイクロン加熱時のフレーク帯電量

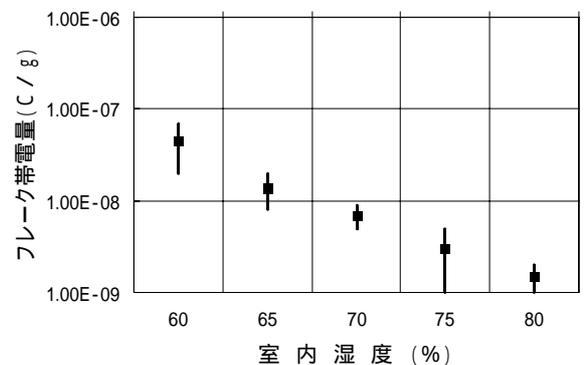


図6 乾燥空気供給時のフレーク帯電量

自体に吸着している気中水分は、45 程度に加熱されたサイクロンに接触した場合でも、短時間では除湿できないためと考えられる。

(b) 乾燥空気供給による方法

室内湿度が60%以上の高湿度環境になった時に、乾燥空気を供給した場合のフレーク帯電量測定を行った結果を図6に示すが、フレークの帯電量増加は認められなかった。

フレーク荷電部の一部にはサイクロンが使用されているが、サイクロンは空気力学的に巡回気流を作り出しているために、装置上部を密閉できない。従って、乾燥空気を供給した場合でも、湿潤外気の帯電経路への流入を完全に防止できないために、フレーク帯電量向上が図れないものと思われる。

(c) 除湿器連続運転による方法

選別作業室内部の湿度が72%の高湿度環境下において、除湿器4台を連続運転することにより、室内の除湿操作を行った。除湿を行う過程でフレーク帯電量実験及び選別実験を行い、室内湿度に対する各々の実験結果を図7、図8に示す。

図7において、フレーク帯電量は除湿が進行するに従って徐々に増加し、湿度が55%以下になると 10^{-7} C/g の桁を維持するようになる。除湿によるフレーク帯電量の増加は、選別実験結果にも反映されて、図8に示されるように、除湿が進行するに従って、PET 純度、PET

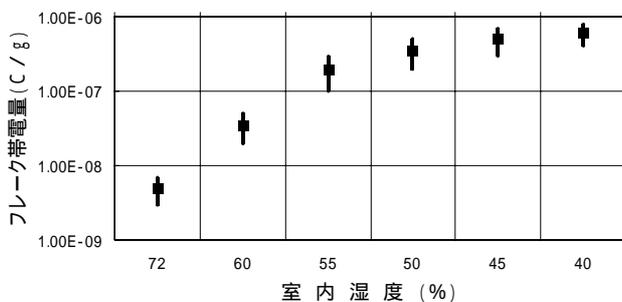


図7 除湿器連続運転時のフレーク帯電量

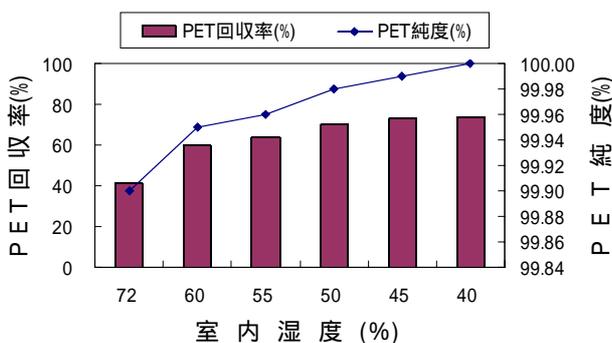


図8 除湿器連続運転時の選別効率・回収率

回収率は徐々に向上する。特に、湿度を45%以下に低下させた場合、PET 純度は99.99%、PET 回収率は70%を上回るようになり、高純度・高回収率の静電選別が可能となった。

4.2 出窓型孔開き電極採用によるフレーク付着防止の検討

電極板へのフレーク付着原因としては、強く帯電したフレークの場合、反対極性の高電圧が印加されている平板電極板へクーロン力で吸着される。この場合、フレークの電気抵抗値が絶縁性領域にあるため、帯電電荷の中和作用は短時間では起こらないために、吸着現象は持続する。

今回試みた出窓型孔開き電極には、電極表面に多数の突起が存在しているため、平板電極板とは異なりフレークの電極板への密着を防止することができる。その結果、装置運転時のフレーク付着が防止できるため、連続運転が可能となった。

5. まとめ

今回、ペットボトルフレーク用の静電選別装置の性能安定化について検討を行った。

高湿度環境下におけるフレーク帯電量低下を防止するために、サイクロン加熱方法や乾燥空気供給方法等の局所的対策には効果が認められなかったが、選別作業室全体を除湿する方法では効果が認められた。その結果、フレーク帯電量が増加し、PET 純度、PET 回収率も向上した。特に、湿度を45%以下に低下させた場合、PET 純度は99.99%、PET 回収率は70%を上回るようになり、高純度・高回収率の静電選別が可能となった。

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ー研究報告，29-32, (1991).
- 3) 殿谷保雄：東京都立工業技術センター研究報告，96, (1997).
- 4) 殿谷保雄，山本克美，橋本欣也，牧野晃浩，木崎勝：静電気学会全国大会講演論文集，341-344, (1998).
- 5) 殿谷保雄，山本克美，橋本欣也，牧野晃浩，木崎勝：東京都立産業技術研究所研究報告，93-96, (1999).

(原稿受付 平成13年8月1日)