

# 静電選別におけるリサイクルプラスチックの 落下分布に対する投入原料組成比の依存性評価

黒田 真司<sup>\*.1</sup>, 三木 伸介<sup>\*</sup>, 衣川 勝<sup>\*</sup>, 西川 祐介<sup>\*\*</sup>, 筒井 一就<sup>\*\*\*</sup>

(2020年9月24日受付; 2020年12月7日受理)

## Dependence of the Input Material Composition Ratio on the Fall Distribution of Recycled Plastic for Electrostatic Separation

Shinji KURODA<sup>\*.1</sup>, Shinsuke MIKI<sup>\*</sup>, Masaru KINUGAWA<sup>\*</sup>,  
Yusuke NISHIKAWA<sup>\*\*</sup> and Kazunari TSUTSUI<sup>\*\*\*</sup>

(Received September 24, 2020; Accepted December 7, 2020)

Electrostatic separation, which is a step used in plastic sorting, is a sorting method that utilizes the difference in charge polarity as generated when different types of plastic are rubbed together or touch each other. In electrostatic separation, fluctuations in the input material composition ratio affect the fall distribution of plastic, and this influences recovery rate and purity. In this investigation, we tested the electrostatic sorting in changing the ABS (acrylonitrile butadiene styrene), PS (polystyrene), and PP (polypropylene) ratio in the input materials and evaluated the charge amount and the fall distribution of each plastic type. We also clarified the trend of the charge amount when the composition ratio of ABS, PS, and PP changed. Finally, we formulated the relationship between the ABS, PS, and PP ratio and the fall distribution statistics by applying regression analysis. The weight ratio predicted from the fall distribution showed good agreement with the actual value. By deciding the separation position according to the input material composition ratio, we expect to be able to raise recovery rate and purity.

### 1. はじめに

今やリサイクルは社会全体の基盤システムとして深く定着し、家電リサイクル法に従った使用済み家電製品の引き取り台数は、1,477万台に達した<sup>1)</sup>。当社における、家電製品のプラスチックリサイクルフローを図1に示す。図1より、使用済み家電から得られる混合破碎プラスチックを、アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン共重合体 (ABS)、ポリスチレン (PS)、ポリプロピレン (PP) の3種類に選別し、エアコンや冷蔵庫の家電

**キーワード**：静電選別, 摩擦帯電, 家電リサイクル, 組成比

<sup>\*</sup> 三菱電機株式会社先端技術総合研究所

(〒661-8661 兵庫県尼崎市塚口本町 8-1-1)

Advanced Technology R&D Center, Mitsubishi Electric Corp, 8-1-1, Tsukaguchi-honmachi, Amagasaki City, Hyogo 661-8661, Japan

<sup>\*\*</sup> 三菱電機株式会社姫路製作所

(〒670-8677 兵庫県姫路市千代田町 840 番地)

Himeji Works, Mitsubishi Electric Corp, 840, Chiyoda-cho, Himeji City, Hyogo 670-8677, Japan

<sup>\*\*\*</sup> 三菱電機株式会社リビングデジタルメディア事業本部

(〒100-8310 東京都千代田区丸の内 2-7-3)

Living / Digital Media Business Division, Mitsubishi Electric Corp, 2-7-3, Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8310, Japan

<sup>1</sup> Kuroda.Shinji@bp.MitsubishiElectric.co.jp

DOI : <https://doi.org/10.34342/iesj.2021.45.1.21>

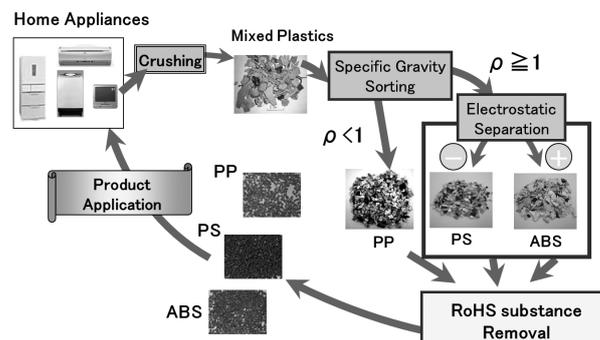


図1 家電製品のプラスチックリサイクルフロー

Fig.1 Plastic recycle flow of home appliance.

製品へと再利用している<sup>2-6)</sup>。

ABS, PS および図1中の比重選別で分離できない、比重1以上であるガラスファイバー入りの比重重PP(以下、単純にPPと略記)は、静電選別を用いて選別を行う。静電選別は、摩擦帯電における極性の相違と静電場から受ける力の差を利用した選別方法である。家電製品へと適用するプラスチック量の増加および品質確保のため、静電選別の回収率と純度の向上が望まれている。

静電選別の回収率や純度に影響を与える要因として、破碎したプラスチックの形状<sup>7)</sup>、帯電時の温湿度<sup>8)</sup>、摩擦帯電時の筒の材質や帯電時間<sup>9)</sup>、電極構造や印加電圧の大きさ<sup>10)</sup>などが過去の研究で検討されている。上記以外に静電選別の回収率、純度に影響を与える要因とし

て、投入されるプラスチックの混合比率（以下、組成比と略記）がある。当社のリサイクル事業関連会社にある静電選別量産機では、定期的に投入原料の組成比測定が行われており、例えばABSの場合、年間で10 pt程度、組成比が変動することが分かっている。ここでptは、パーセンテージの増減を表す単位である。このため、投入されるプラスチック種ごとの帯電量が変化し、落下位置に影響を与えるため、回収率や純度が安定しないという問題がある。

本論文では、組成比に対応した回収条件適正化による、プラスチックの回収率と純度の向上に向けて、静電選別の原料であるABS、PS、PPの帯電量および回収位置の組成比依存性を評価した。その結果、プラスチックの組成比と落下分布（回収位置ごとの重量比率を分布化したもの）の関係を定式化することで、組成比が変化したときの落下分布を予測できるようになった。また、予測した落下分布から算出される、落下位置に対するプラスチックの重量比率と実測値は良い一致を示すことが分かった。以下で、その詳細を報告する。

## 2. 実験

### 2.1 試料

摩擦帯電後のプラスチックの帯電量および落下分布の組成比依存性を評価するため、表1に示した6通りの組成条件で実験を行った。表1のSample No.1~3では、静電選別原料に含まれるABSとPSの2成分において、その組成比が変化したときの帯電量と落下分布を評価した。表1のSample No.4~6では、PPが混入したときの帯電量および落下分布を評価するため、ABSとPSの混合比率を3条件全てで1:1にして、PPの混入割合を変化させ実験を行った。PP混入なしとPP混入ありでサンプル条件を分けたのは、帯電量および落下分布に対する、組成比の影響を明らかにするためである。今回、表1に示す6通りの組成条件で試験を行ったのは、静電選別量産機の組成変動に合わせて、広い組成範囲で、落下分布の予測を可能とするためである。組成比以外の要因で、

表1 各サンプルのプラスチック重量比率  
Table 1 Mixing ratio of each sample.

Sample No	ABS (%)	PS (%)	PP (%)
1	10	90	0
2	50	60	0
3	90	10	0
4	45	45	10
5	35.5	35.5	25
6	25	25	50

帯電量と落下分布が変化しないよう、後述する実験室の温湿度や帯電時間等の条件は、各サンプルで一定とした。

実験に使用した試料は、静電選別量産機と同じロット内で回収した、リサイクルプラスチックフレークのABS、PS、PPを用いた。回収したフレーク1個あたりの大きさおよび重量の平均は、それぞれ10 mm、重量は約0.07 gであった。表1の各条件で使用した試料重量は1 kgにして摩擦帯電を行い、後述する評価を実施した。

### 2.2 評価方法

表1のSample No.1~6について、帯電量と落下分布を評価した。前処理として、組成比を調整した試料を、80℃で1時間乾燥した。乾燥後の試料を、図2に示す、内部に凹凸構造をもつABS製の摩擦帯電装置に投入し、60 rpmの速度で15分間、容器を回転させることで試料の帯電を行った。このときの、実験室条件は、28℃、30% RHで調整した。帯電させた試料について、以下の(A)帯電量評価および(B)落下分布評価を実施した。

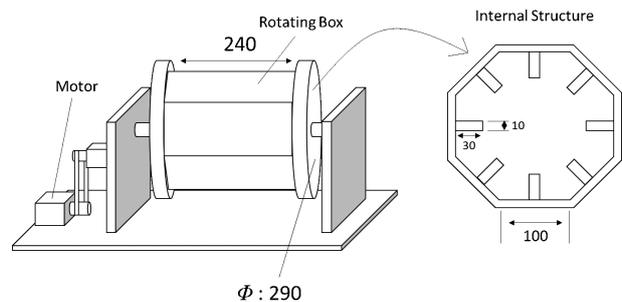


図2 摩擦帯電装置  
Fig.2 Triboelectric charger.

#### (A) 帯電量評価

摩擦帯電後の試料について、200個のフレークを無作為に抜き取り、ナノクーロンメーター284型（Monroe社製）を用いて、帯電量（nC）を測定した。また、抜き取ったフレークの重量（g）を測定し、帯電量から重量を割った比電荷（nC/g）を算出した。さらに、各フレークを近赤外分光分析装置 PLASCAN : model:C（システムエンジニアリング社製）を用いて、プラスチックの種類を特定し、種類ごとの比電荷分布を各組成条件で評価した。なお、赤外分光分析は、波長範囲：4000  $\text{cm}^{-1}$ ~8000  $\text{cm}^{-1}$ 、分解能：5  $\text{cm}^{-1}$ 、積算回数：9回、測定方法は反射法で行った。

#### (B) 落下分布評価

図3の静電選別装置を用いて、各サンプル条件での落下分布を評価した。静電選別装置は、試料を搬送するフィーダ（Feeder）、電圧を印加するための電極（Electrodes）、落下した試料を回収するための11個の回収箱（Collection

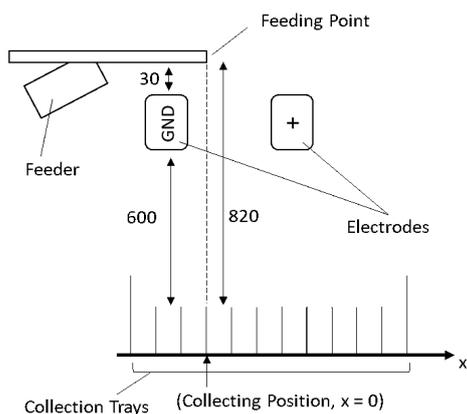


図3 実験でを使用した静電選別装置の概略  
Fig.3 Schematics of electrostatic separator.

trays) で構成される。下方に配置された回収箱は幅 73 mm, 高さ 150 mm, 奥行 400 mm であり, それぞれ図 3 中の  $x$  軸に対して等間隔になるように配置した。また, フィーダ端 (Feeding Point) が原点になるよう, 各回収箱の中心を落下位置座標  $x$  として設定した。実験では, 電圧を印加した状態で, 摩擦帯電直後の試料を約 400 g 投入した。このときの実験室は, 28℃, 30% RH に調整し, 試料の投入速度は 300 g/min に, 電極周りの電界強度は 300 kV/m に設定した。投入が完了した後, 各回収箱のフレークをそれぞれ回収し, (A) と同様の方法でプラスチックの種類を特定した。プラスチックの種類ごとに, 各回収箱で回収された重量を測定して落下分布を求め, 組成比が変わったときの落下分布の変化を評価した。なお, 今回の落下実験において, 落下時のフレークと電極部分への付着は, 目視で確認されなかったため, フレークが付着することで生じる電極からの反発の影響は考慮しなかった。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 比電荷の組成比依存性

##### (1) 比電荷の ABS : PS 比率依存性

図 4 に, ABS : PS がそれぞれ 1 : 9, 5 : 5, 9 : 1 (表 1 の Sample No.1~3 に対応) のときの ABS と PS の比電荷  $q$  をヒストグラムで示す。図中の縦軸は相対度数 (%) を示している。また, 図 5 に代表的なプラスチック種の摩擦帯電列<sup>11)</sup>を示す。図 5 より, ABS と PS を摩擦帯電させると, 3 条件とも, 摩擦帯電列に従い, ABS は正に, PS は負に帯電する。

図 6 に, 図 4 の各組成比における比電荷の代表値として, 中央値  $Med\ q$  を求め, (A) ABS, (B) PS に分けて, それぞれプロットした結果を示す。グラフの横軸は, 投入原料中の ABS 比率を, 縦軸には比電荷の中央値  $Med$

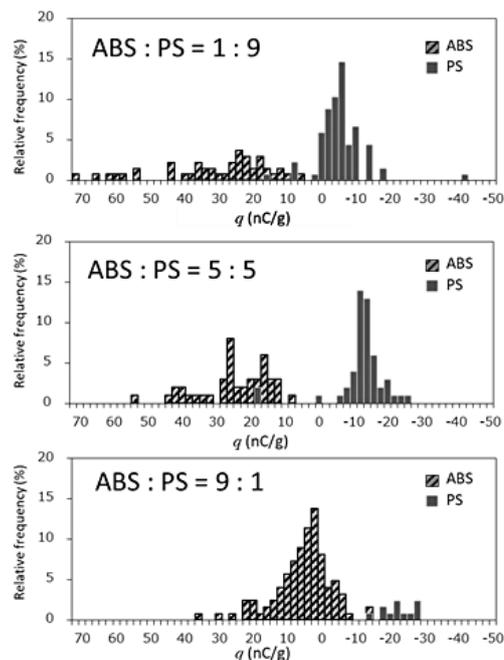


図 4 ABS : PS 比率を変えたときの比電荷分布  
Fig.4 The charge-to-mass ratio distribution vs. ABS : PS ratio.

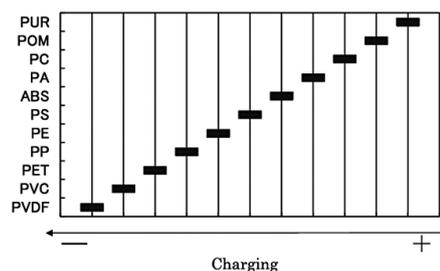


図 5 プラスチックの摩擦帯電列  
Fig.5 Relative position of plastic in triboelectric series.

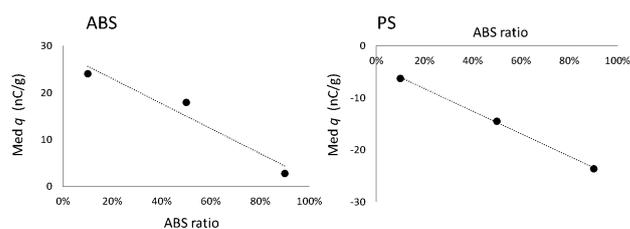


図 6 比電荷の中央値と ABS 比率の関係  
Fig.6 Median charge-to-mass ratio vs. ABS ratio.

$q$  を示している。図 6 より, ABS 比率増加にともない, ABS および PS の比電荷中央値は, 負の方向に増大することが明らかになった。試料中の ABS 比率が増加すると, 帯電装置での回転中に, ABS が PS と接触する回数が減少するため, ABS の比電荷が減少したと考えられる。一方, PS は, ABS 比率増加にともない, ABS と接触する回数が増加するため, 比電荷が本来の負の方向に大きくなったと考えられる。

(2) 比電荷のPP比率依存性

図7に、投入原料中のPP混入割合を、それぞれ10%、25%、50% (表1のSample No.4~6に対応)にしたときの比電荷  $q$  をヒストグラムで示す。図7より、各条件において、ABS、PS、PPの3種を摩擦帯電させると、ABS → PS → PPの順に負帯電しており、図5の摩擦帯電列の傾向と一致する。

図8に、3種のプラスチックについて、各組成比条件での比電荷の中央値  $Med\ q$  を求め、(A) ABS、(B) PS、(C) PPに分けてプロットした結果を示す。グラフの横軸は、試料中のPP比率を、縦軸には比電荷の中央値を示している。図8より、ABS、PS、PP全てで、PP比率増大にともない、比電荷の中央値が正の向きに増大することが分かった。以下でその理由を、PP以外のプラスチック(a) ABS、PSと (b) PP自身に分けて考察を行う。

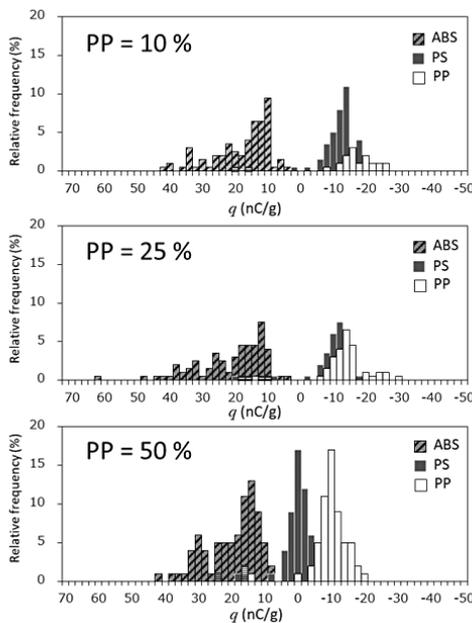


図7 PP比率を変えたときの比電荷分布の変化  
Fig.7 The charge-to-mass ratio distribution vs. PP ratio.

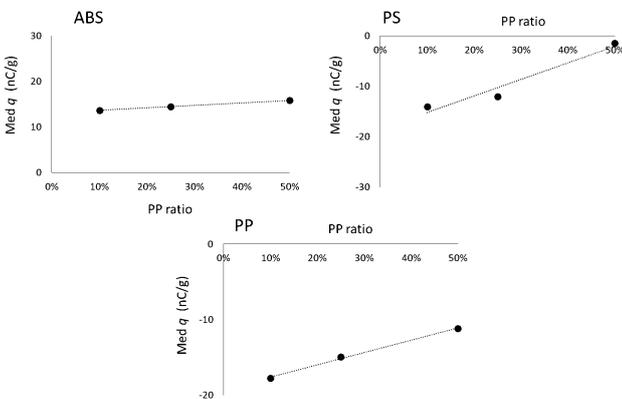


図8 比電荷の中央値とPP比率の関係  
Fig.8 Median charge-to-mass ratio vs. PP ratio.

(a) ABS, PS

試料中のPP比率が増大すると、摩擦帯電時に、ABSとPSがPPと接触する回数が増大する。図5の摩擦帯電列より、ABSとPSがPPと接触すると、ABSとPSは、PPと比較して正の方向に帯電することから、PP比率増加により、ABS、PSの比電荷がそれぞれ正の向きに増加したと考えられる。

(b) PP

PP比率が増大すると、摩擦帯電中に異種プラスチックであるABS、PSとの接触回数が減少する。PPがABS、PSと接触すると、負に帯電することから、PP比率増大により、負帯電方向の帯電量が減少した—0に近づいた—と考えられる。

3.2 落下分布の組成比依存性

(1) 落下分布のABS:PS比率依存性

図9に、ABS:PSが1:9、5:5、9:1のときの落下位置  $x$  に対する、ABSとPSの重量比率(%)の関係を示す。縦軸にプロットした重量比率は、ABSとPSについて、11個全ての回収箱で回収した重量の合計を100%として、各回収箱で回収された重量をそれぞれ%で示した値である。図9より、ABSとPSの重量分布は、それぞれ一つのピークをもつガウス分布状になることが分かった。重量分布がガウス分布になるのに対し、図4の比電荷分布では、ガウス分布からの歪みが見られる。これは、重量分布作成時には、回収箱で回収したフレーク全てで、プラスチック種の特定および重量測定を行っているのに対し、比電荷分布作成時には、摩擦帯電させたフレークの一部を抜き取って比電荷測定を行っており、抜き取りによる誤差が含まれるためと考えられる。

組成比に応じた、落下分布の定式化を行うため、式(1)に示すガウス関数  $f(x)$  でフィッティングし、分布の統計量を求めた。ここで各統計量は、 $\mu$ : ピーク位置、 $\sigma$ : 半値幅、 $h$ : ピーク高さにそれぞれ対応する。

$$f(x) = \frac{h}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (1)$$

図9中に、式(1)によりフィッティングした結果を、ABS = 実線、PS = 破線で示す。なお、ABS:PSが5:5のときに、外れ値のプロットが見られるのは、実験時に回収箱のさらに外側まで飛散したフレークが、装置の側壁に跳ね返され、一番端の回収箱に回収されたためと考えられる。よって、両端の回収箱のデータは考慮せずにフィッティングを行った。

図9より、各組成比条件において、ABSは負の回収位置の方向に、PSは正の回収位置の方向に分布した。

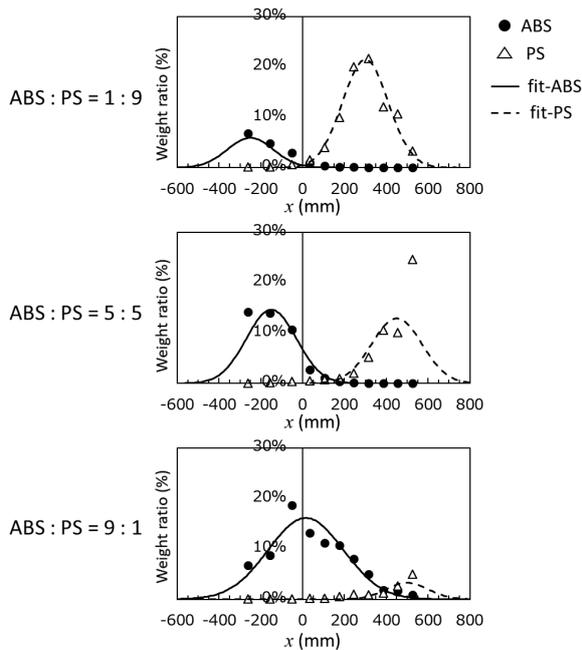


図9 ABS:PS比率を変えたときの落下分布  
Fig.9 Fall distribution vs. ABS:PS ratio.

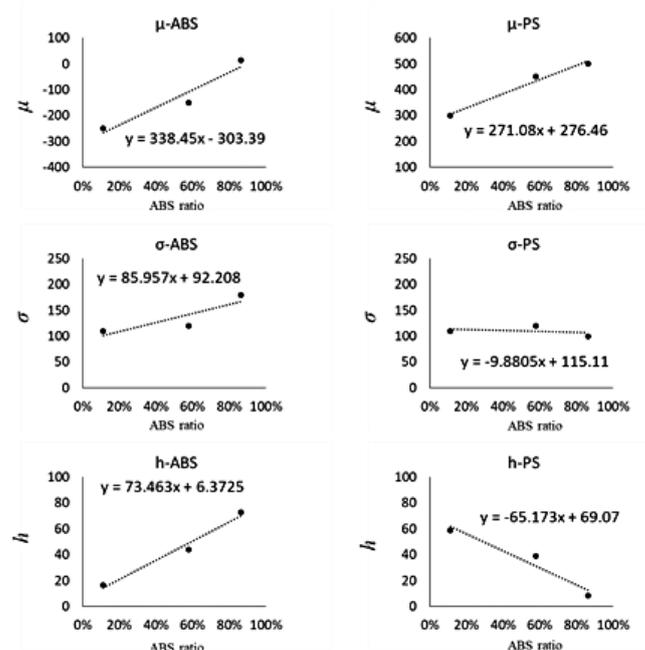


図10 ABS比率と落下分布の統計量の回帰分析結果  
Fig.10 Regression analysis of fall distribution statistics vs. ABS ratio.

図4から、負方向の回収位置は、GND電極の下方に位置するため、摩擦帯電時に正に帯電したフレークが回収される。一方、正方向の回収位置は、+電極下方に位置するため、負に帯電したフレークが回収される。3.1(1)の結果より、摩擦帯電時にABSは正に、PSは負に帯電することから、各プラスチック種の回収位置は帯電の傾向と一致する。

次に、回収箱の大きさ(横幅、高さ)と落下分布の関係について考察を行う。まず回収箱の高さに関して、高さを大きくすると、フィーダから回収箱にフレークが入るまでの飛距離が小さくなるため、落下分布のピーク位置 $\mu$ がx軸の原点方向に移動する。一方、高さを小さくすると、フレークが回収箱に入るまでの飛距離が大きくなるため、 $\mu$ がx軸の原点から離れる方向に移動する。回収箱の横幅に関して、横幅を大きくすると、落下点の差が丸められるのに対し、横幅を小さくすると、より詳細な落下分布の作成が可能となる。

組成比が変化したときの、ABS、PSの落下分布の変化を明確化するため、組成比3条件のフィッティングで得られた、分布の統計量 $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $h$ について、回帰分析を実施した。図10に回帰分析の結果を示す。グラフ横軸はABS比率を、縦軸は各統計量の値を示している。また、グラフ中には、1次の回帰直線とその回帰式を表示した。投入原料中のABS・PSの組成比が分かれば、回帰式より統計量 $\mu$ 、 $\sigma$ 、 $h$ を算出することができるので、落下分布を予測できるようになった。

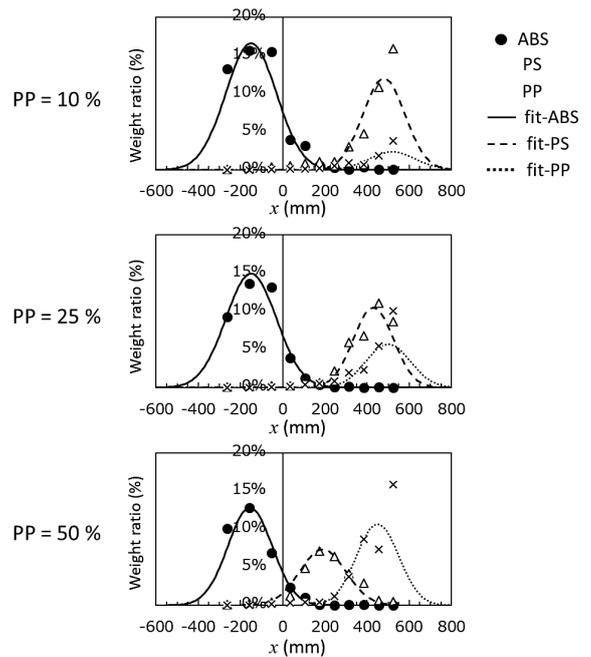


図11 PP比率を変えたときの落下分布  
Fig.11 Fall distribution vs. PP ratio.

(2) 落下分布のPP比率依存性

次に、PP混入時の落下分布の変化を評価する。図11に、投入原料中のPP混入割合を、10%、25%、50%に変化させたときの落下分布の結果を示す。図中には、式(1)でフィッティングした結果を、ABS = 実線、PS = 破線、PP = 点線として示す。前述の3.2(1)と同様に、一番端の回収箱の重量比率は、プラスチックの跳ね返りによる

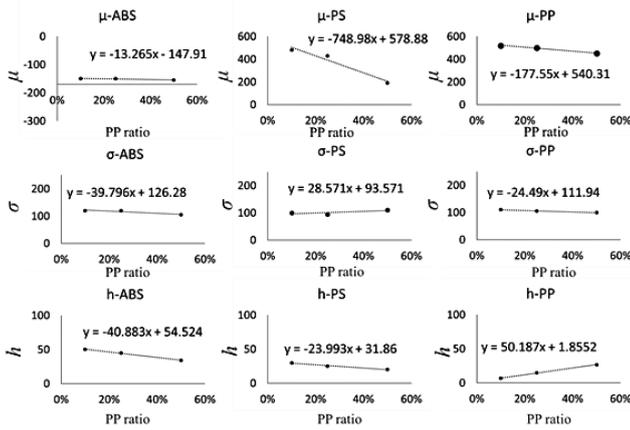


図12 PP比率と落下分布の統計量の回帰分析結果  
Fig.12 Regression analysis result of fall distribution statistics vs. PP ratio.

外れ値が見られるため、フィッティング時に考慮しなかった。3条件で、分布の位置は、ABS → PS → PPの順に、負の方向へと移動していることから、3.1 (2)の帯電結果と一致する。

PP混入量が変わったときの、ABS, PS, PPの落下分布の変化を明確化するため、各統計量 $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $h$ の組成比3条件における、回帰分析結果を図12に示す。グラフ横軸はPP比率を、縦軸は各統計量の値を表している。回帰分析結果より、PPの混入比率が変わったときの、統計量 $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $h$ の変化が定式化でき、PP混入時の落下分布を予測できるようになった。

3.3 落下分布の予測精度評価

3.2で定式化した落下分布の予測精度を評価する。落下分布の予測精度は、精度評価用に取得した落下位置に対する重量比率と、落下分布から算出した重量比率を比較することで行った。精度評価用データには、実際に静電選別量産機からサンプリングした投入原料(組成比ABS : PS : PP = 50 : 41 : 9)で落下実験を行い、各回収箱で回収した、ABS, PS, PPの重量比率を用いた。なお、3.2で説明したフレークの跳ね返りの観点から、両端の回収箱の重量比率は、評価に用いなかった。落下分布の予測については、与えられた投入原料組成比から、3.2回帰分析結果を用いてABS, PS, PPの分布統計量 $\mu$ ,  $\sigma$ ,  $h$ を算出し、式(1)に示す、回収位置 $x$ を変数とした落下分布 $f(x)$ を求めた。ここで、各統計量を求める際には、ABSとPSは等量であるとして、図12の回帰直線をPP比率0%まで延長した。

図13に、投入原料中の組成比ABS : PS : PP = 50 : 41 : 9のときの予測落下分布を、ABS = 実線、PS = 破線、PP = 点線で示す。図中の横軸はフィーダ端を原点に取ったときの落下位置 $x$ を、縦軸は重量比率を示している。ま

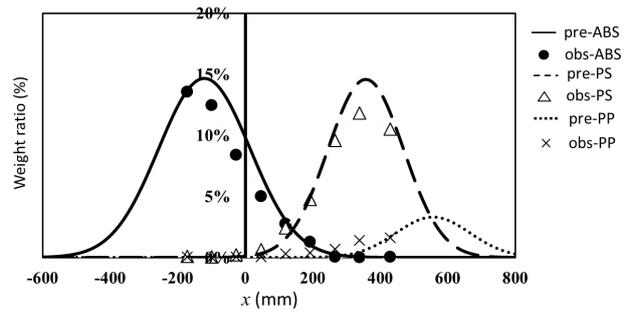


図13 予測した落下分布と実測値の比較  
Fig.13 Comparison of predicted fall distribution and observed value.

表2 落下分布から予測した値と実測値との残差  
Table 2 Residual error predicted value vs. observed value.

	Residual Error (Pre. -Obs.)
ABS	0.9 pt
PS	0.7 pt
PP	0.3 pt

た、図中には、落下実験によって回収された、ABS, PS, PPの重量比率をプロットしている。図13より、予測した落下分布と、実験で得られた値はおよそ一致していることが分かる。

次に、予測した落下分布から得られた値(予測値)と、実験により得られた値(実測値)を比較する。予測値は、落下分布 $f(x)$ に、各回収箱の回収位置をそれぞれ代入して算出した。表2に、予測値と実測値の残差絶対値(pt)を、ABS, PS, PPに分けて示す。表2より、全てのプラスチック種において、予測値と実測値の残差は1 pt以下であり、落下分布から予測されるプラスチックの重量比率は、実測値と良い一致を示すことが分かった。

落下分布によって予測される回収率と純度について考察する。今回、摩擦帯電時に正帯電するABSと負帯電するPS, PPの2種類を選別することを想定する。それぞれのプラスチックを回収するために、ABS回収用の回収箱1とPS, PP回収用の回収箱2と、回収箱1と回収箱2を区画するための仕切り板があるとす。仕切り板の位置は、図13の $x$ 軸に対して、自由に移動可能になっているものとする。図14に、2つの回収箱(Collection Tray 1, Collection Tray 2)、仕切り板(Partition Plate)、図13で予測したABS, PS, PPの落下分布を示す。図14(A)では、仕切り板の位置を、ABSとPSの落下分布の交点の位置を中心として、 $x$ 軸正側に設置したときを、図14(B)は、 $x$ 軸負側に設置したときの図を示す。図14(A)の場合、回収箱1に入るABS(図中の実線)の割合が大きくなるため、ABSの回収率は高くなる。一方、図14(B)の場合、ABS以外のプラスチック(図中の破線と点線)が、

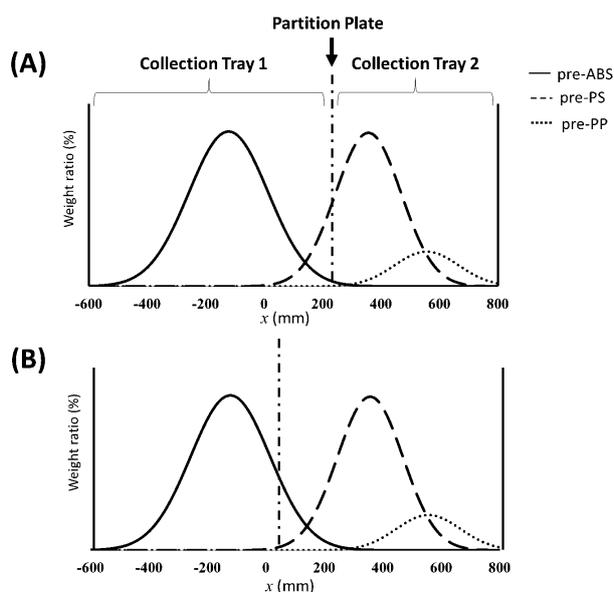


図 14 予測した落下分布と仕切り板の関係  
Fig.14 Relationship between predicted fall distribution and partition plate.

回収箱 1 に入る割合が小さくなるため、ABS の純度が高くなる。このように、予測した落下分布に応じて仕切り板の位置を調整することで、プラスチックの回収率と純度の適正化が可能となる。

#### 4. おわりに

本報では、静電選別の投入原料組成比に応じた、回収率と純度の適正化に向けて、プラスチック摩擦帯電時の帯電量と落下分布の組成比依存性を評価した。その結果、ABS と PS の 2 成分において、ABS 比率が増加するにつれて、ABS, PS の比電荷は、どちらも負の方向に増大することを明らかにした。また、ABS, PS, PP の 3 成分では、PP 比率増加にともない、3 種全てで正の方向に比電荷が移動することを明らかにした。最終的に、組成比と落下分布の関係を定式化することで、組成比に応じたプラスチックごとの落下分布を予測できるようになった。予測した落下分布から算出される、落下位置に対するプラスチックの重量比率は、実測値と良い一致を示すことが分かった。以上より、投入原料中の組成比が変化したときに、予測した落下分布にもとづいて、回収箱と回収箱を区画する仕切り板の位置を調整することで、プラスチックの回収率および純度の適正化が期待できる。

本成果は国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の事業において得られたものである。

#### 参考文献

- 1) 一般財団法人家電製品協会：家電リサイクル年次報告書 令和元年度版 (第 19 期), p.17 (2020)
- 2) 松尾雄一, 中 慈朗, 遠藤康博, 井関康人, 高木 司：使用済み家電回収プラスチックの高精度選別・再生素材化技術。プラスチック成形加工学会誌, **23** [10] (2011) 599
- 3) 松尾雄一, 遠藤康博, 藤田章洋, 小笠原忍, 井関康人, 長谷部雄一：使用済み家電混合プラスチックのマテリアルリサイクル技術。廃棄物資源循環学会論文誌, **20** [5] (2009) 303
- 4) 松尾雄一, 井関康人, 小笠原忍：使用済み家電混合プラスチックのマテリアルリサイクル技術 (II)。廃棄物資源循環学会論文誌, **25** (2014) 77
- 5) 西川祐介, 梅村園子, 三木伸介, 井関康人：被選別原料中の樹脂混合比率に基づいた静電選別技術の開発。静電気学会講演論文集' 18, p.129, 静電気学会 (2018)
- 6) 黒田真司, 西川祐介, 三木伸介, 平田靖典：静電選別におけるポリスチレンの高精度選別技術の開発。静電気学会講演論文集' 19, p.115, 静電気学会 (2019)
- 7) C. Xiao, L. Allen and M. B. Biddle: Electrostatic Separation and Recovery of Mixed Plastics, American Plastics Council (2003)
- 8) C. Park, H. Jeon, O. Han and H. Yu: Application of Electrostatic Separation to the Recycling of Plastic Wastes: Separation of PVC, PET, and ABS. Environmental Science and Technology, **4** [2] (1) (2008) 249
- 9) G. Doddiba, A. Shibayama, T. Miyazaki and T. Fujita: Triboelectrostatic Separation of ABS, PS and PP Plastic Mixture, Material Transactions, **44** [1] (2003) 161
- 10) 佐伯暢人：円筒電極を用いた静電選別の開発。日本機械学会論文集 (C 編), **77** [780] (2011)
- 11) 伊藤真由美, 恒川昌美：廃プラスチック選別技術の動向。資源と素材 (Shigen-to-Sozai), **122** (2006) 142