

静電気の研究

～身近なものでマイクロプラスチック除去の方法を探る～

沖 美沙紀 小林 陸 清水 陽太
兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2年

本研究では、身近な物の表面状態、湿度、圧力、材質といった条件を変えた時の静電気の帯電量を測定した後、効果的なマイクロプラスチック除去の方法を探った。実験結果から、静電気の帯電量は摩擦回数が増えるにつれて対数関数に近い形で増加し一定の収束値を持つこと、また空気中の水分量と帯電量には負の相関があり、グラフは直線形となることが分かった。また、MPとガラスビーズの分離は、同体積（直径 300 μm 球）においては帯電量 0.14 kV 以上が効率良く吸着除去ができることが分かった。

1. はじめに

1.1. 研究動機と目的

本研究の目的は、各条件下における静電気の発生状態を調べ、それをもとに静電気を用いたマイクロプラスチックの除去方法を探ることである。

静電気は日常的に発生しどこでも見られる現象であるが、現在でも解明されていないことが多い。湿度、摩擦時に加える圧力、面積等の条件によって絶えず帯電量が変わり、同材質の板上でも局部的に極性、帯電量は変化する。材質によって作られる帯電列も上記に述べた要因によって、変化するため、決まったものはない。そこで、本研究では、身近なものでこのような静電気の性質を調べていき、実験Ⅱマイクロプラスチック除去実験につなげることにする。

プラスチックは便利である反面、近年プラスチックが海、砂浜などにマイクロプラスチックとして残留し、生態系及び人間へ害を及ぼすことが問題になっている。特に、合成高分子化合物の中でポリエチレン類は、自然界で最も微生物に分解されにくい。そのため今回の実験では、マイクロプラスチックをポリエチレン類のナノプラスチックとし、静電気を用いて吸着除去への道を探る。

現在砂からマイクロプラスチックを分離する方法は、「比重選別・ろ過・ふるい分け・目視」の4つが用いられているが、まだ有効な方法は確立されていない。本研究を発展させていけば、このような問題への物理的手法を用いた新たな解決策の1つになるのではないだろうか。

1.2. 先行研究と本研究の特徴

静電気学会誌に掲載されている「絶縁体同士の摩擦帯電及び接触帯電に関する実験的検討」の結果より、2つの試料をこすり合わせて帯電させると、あ

る摩擦回数から一定の値となることが分かっている。本研究ではこの一定の値を収束値とし、ポリプロピレン板（以下PP板と略記）と前述の先行研究では扱われていなかった、綿・毛・アクリル・ポリエステル・ナイロンの試料で静電気を発生させ、布の材質及び温度、湿度の異なる条件での収束値を調べることとする。

マイクロプラスチック（以下MPと略記）の海洋、砂浜での除去は、振るいによる選別（350 μm ）が限界値で、それよりも小さいMPは現在除去する手立てがない。よって、静電気を用いた吸着除去の実験では、300 μm のナノプラスチックを使用する。

2. 静電気の測定方法について

本研究では、静電気の帯電量の指標として、「Simco-Ion 静電気測定器 FMX-004」を用いて測定した電圧（単位kV：小数第2位まで有効）を利用した。



写真1 コルク板



写真2 静電気測定器

PP板の面積（ $5.5 \times 7.5 \text{ cm}^2$ ）は静電気測定器の測定面積よりも大きくかつ布試料の幅よりも小さいものとした。試料同士を帯電させる際は、コルク板上（写真1参照）に書かれた位置に試料を設置して指定された場所に静電気測定器のライト（写真2参照）を合わせ試料から2.5 cm離して帯電量を測定した。なお、予備実験にて摩擦後にコルク板が帯電していないことは確認している。

摩擦させる前は以下に記す手順で除電したPP板の帯電量を測り、あらかじめ除電ができていないことを確認したうえで摩擦帯電させた。また、摩擦方法

に関しては、予備実験をふまえて荷重を加えた布試料（写真3参照）を同一人物がゴム手袋を装着して左右に水平移動させて行った。摩擦回数は1往復を1回として測定した。

コルク板と2.5 cm間隔の線が入れた台紙が垂直になるように設置した。布試料は荷重を加える重りに巻き付けた。



写真3

＜除電の手順＞

布試料

アースに接続した銅板（写真4参照）に摩擦させるごとに接触させて使用した。

PP板

水に数秒間浸した後、自然乾燥させ水がすべて蒸発したのを確認して使用した。

＊PP板に関しては銅板を使用するとわずかに摩擦が生じて帯電してしまうため、この方法を考案した。

＊除電は±0.01 kVまでを許容範囲とした。



銅板に銅線を接続し、実験室の机に設置されているアースにつなげた。静電気測定器は専用のアース線を用いて銅線の方につなげた。

写真4

実験時は、日付・開始時刻・終了時刻・室温・湿度・荷重・布試料の種類・回数ごとの帯電量を記録した。摩擦回数と帯電量の関係は散布図でグラフ化した。

3. 実験 I

3.1. 実験目的

i) 綿・毛・アクリル・ポリエステル・ナイロンの5種類のそれぞれの布試料とPP板を摩擦させた時に発生した静電気の帯電量を測定し、摩擦回数とPP板の帯電量をグラフ化する。そこから、摩擦回数にしたがってPP板の帯電量がどのように上がるのかを把握し、実験ⅡのPP板の帯電量を変化させる時の指標とする。

ii) それぞれ湿度の違う条件において、収束値に至った際の帯電量と温度、湿度から算出される空気中に含まれる水分量 (g) の関係についてグラフ化する。

る。それらの結果から、空気中の水分量と静電気の帯電量の関係を調べる。

3.2. 実験材料及び方法

i) 2. 静電気の測定方法についてで記した手順で、綿・毛・アクリル・ポリエステル・ナイロン（写真5参照）を1回ずつ摩擦させて30回までの帯電量を測定した。同日に各布試料3回ずつ測定を行った。

30回以降の帯電量の変化を見るため、20, 40, 60, 80, 100 回の時の帯電量もそれぞれ調べた。そこで顕著な値の変化が見られた区間があるものはさらに回数を増やして測定を行った。荷重に関してはそれぞれ262 gのおもりを使用した。

ii) 上記と同様の方法で布試料とPP板を収束値に至るまで帯電させた。なお布試料については、5種類の中で各条件（湿度、温度、水分量）のすべてについて分析するのに十分なデータが取れたものが綿であったため、綿を使用した。空気中1 m³あたりに含まれる水分量 (g) に関しては、環境省のデータブックに記載されていた温度に対する飽和水蒸気量の変化のデータからグラフを作成しそこから読み取った値と測定した温度と湿度から算出した。



写真5

5種類の布試料で、左から綿、毛、アクリル、ポリエステル、ナイロン。布地サイズはすべて80 mm × 100 mm となっている。

3.3. 実験結果

＊全ての布試料において摩擦回数20～100回間では帯電量の変化は見られなかった。

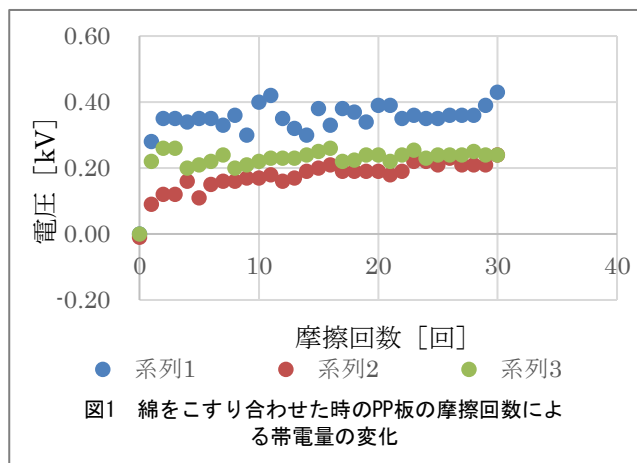
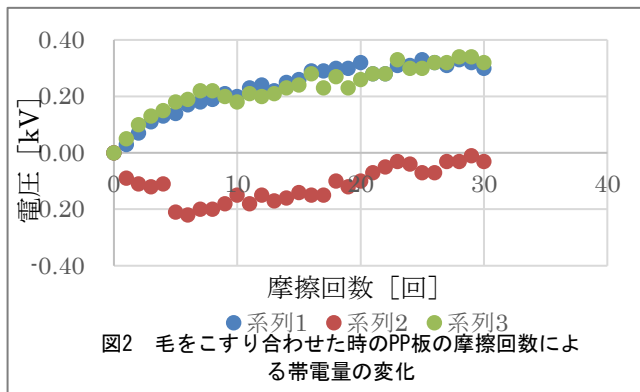


図1 綿をこすり合わせた時のPP板の摩擦回数による帯電量の変化

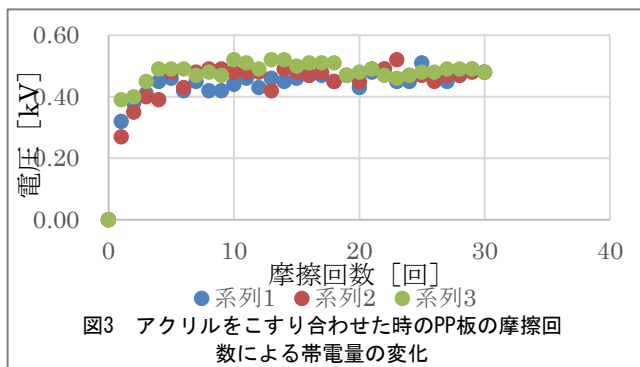
系列1 綿：荷重264 g、室温30.7℃、湿度59%

系列2 綿：荷重264 g、室温30.9℃、湿度56%

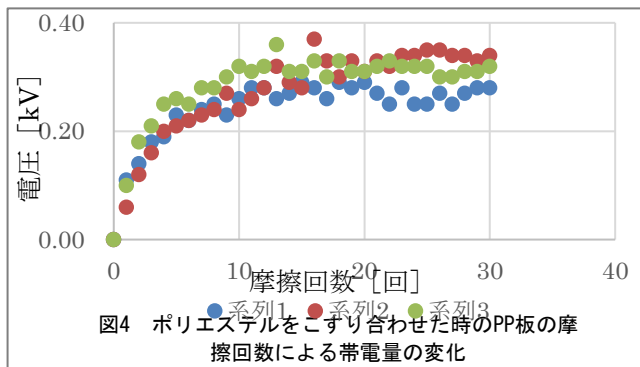
系列3 綿：荷重264 g、室温30.8℃、湿度57%



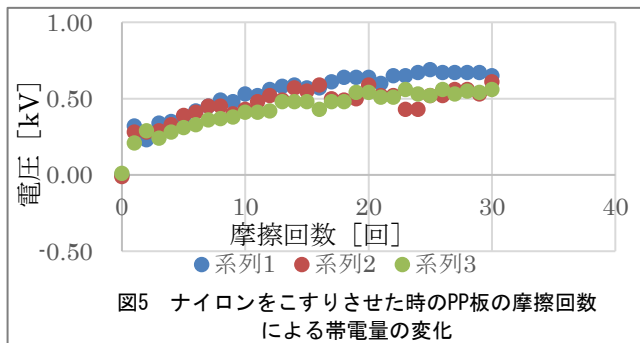
系列1 毛：荷重 266 g，室温 30.8℃，湿度 57%
 系列2 毛：荷重 266 g，室温 30.9℃，湿度 57%
 系列3 毛：荷重 266 g，室温 30.9℃，湿度 57%



系列1 アクリル：荷重 264 g，室温 30.8℃，湿度 57%
 系列2 アクリル：荷重 265 g，室温 30.8℃，湿度 57%
 系列3 アクリル：荷重 265 g，室温 30.9℃，湿度 57%



系列1 ポリエステル：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 57%
 系列2 ポリエステル：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 57%
 系列3 ポリエステル：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 57%



系列1 ナイロン：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 57%

系列2 ナイロン：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 57%

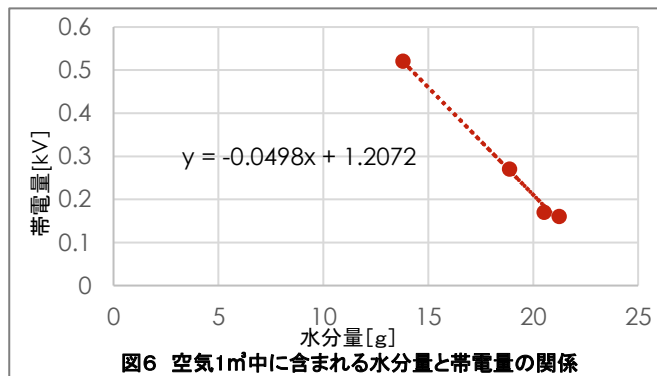
系列3 ナイロン：荷重 263 g，室温 30.8℃，湿度 58%

布の種類	綿	毛	アクリル	ポリエステル	ナイロン
収束値に至った摩擦回数	16	23	4	12	16
収束値 [kV]	0.27	0.32	0.47	0.30	0.56

表1 収束値での摩擦回数と帯電量

湿度 [%]	温度 [°C]	水分量 [g]	帯電量 [kV]
50	25.2	13.80	0.52
57	33.3	20.52	0.17
57	30.8	18.88	0.27
59	32.9	21.24	0.16

表2 図6における各データ一覧



3.4. 実験の考察

i) 摩擦回数による帯電量の違いは図1～5のようになり、5種類の布試料全てにおいて、20～100回間では帯電量の変化は見られなかったことから30回までの間に収束値に到達しているといえる。湿度57%、室温30.8℃の環境においてPP板を基準とする各布試料の帯電列は以下のようになる。

PP板 綿 ポリエステル 毛 アクリル ナイロン

図7 帯電列

PP板の帯電量は摩擦回数が増えるにつれて近似曲線をとると対数関数に近い形で増加していき、収束値に至った後は一定となるように変化した。

ii) 空気1m³中に含まれる水分量と帯電量の関係は図6のようになった。グラフより、空気中の水分量が減るほど帯電量は増加する傾向があり、その形は $y = -0.0498x + 1.2072$ に近似された。空気中の水分量はその場の湿度と温度に依存するため、湿度又は温度が下がれば空気中の水分量が減少するのでそれに伴って静電気の帯電量は増加するといえる。

4. 実験Ⅱ

4.1. 実験目的

PP板の帯電量を変えた時、MP (300 μm) 及び虹ビ

ーズ (300 μm) の吸着量をそれぞれ測定し、砂に含まれる主な物質の一つである石英が MP と同体積であるとき、MP を分離除去するための最適の帯電量を探る。

4.2. 実験材料及び方法

PP 板の質量を電子天秤 (単位 g : 小数第 4 桁まで有効) で測定した後、**2. 静電気の測定方法について**で記した方法を用いて実験 I の結果をもとに摩擦回数を変えながら PP 板の帯電量を変化させ、それぞれの帯電量において吸着実験を行った。MP (300 μm) は 0.1 g を電子天秤で量り取り、シャーレの上に均一になるように広げた。台紙から 0.1 cm 離れた状態で PP 板を MP に近づけ、吸着させたのち PP 板の質量を電子天秤を用いて測定した。

4.3. 実験結果

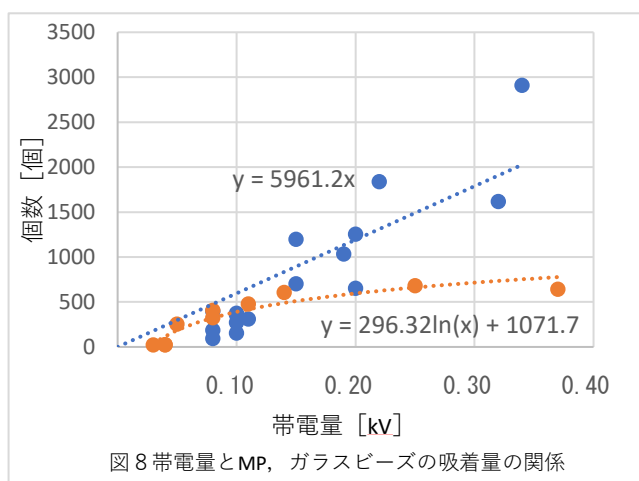


図 8 において、青色が MP、オレンジ色がガラスビーズを表している。

4.4. 実験の考察

ガラスビーズの吸着量は板の帯電量が 0.14 kV 程になるまでは増加した後、傾きは緩やかになりほとんど吸着量は変化しなくなった。MP はほぼ帯電量の増加に比例して吸着量が増加し、 $y=5961.2x$ に近似された。ガラスビーズに比べて MP は質量が小さいため、同じ帯電量の時は MP の方の吸着量が多くなったと考えられる。またガラスビーズは誘電率が MP よりも大きいので、吸着されるにつれて板と粒子間の電場の大きさがより減衰し、ガラスビーズの吸着量が MP より少なくなったのではないかと考えらえる。

5. 結論

本研究の結果より、静電気の帯電量は摩擦回数が増えるにつれて対数関数に近い形で増加し一定の収束値を持つこと、また空気中の水分量と帯電量には負の相関があり、グラフは直線形となった。

MP とガラスビーズの分離は、同体積 (直径 300 μm 球) においては帯電量 0.14 kV 以上が効率良く吸着除去ができると分かった。

6. 今後の展望

本研究は、静電気の摩擦帯電、除電及び計測は全て手動で行ったが、これらを自動化することができればより正確で多くのデータを取ることができ、板にかかる圧力といった他の条件と静電気の帯電量の関係も調べていくことができるだろう。

実験 II の吸着除去実験は、本研究では 300 μm の 2 つの材質の吸着除去しか行えなかったため、今後、静電気をを用いて MP を除去する手立てを確立するには、実際の砂浜で吸着除去を行っていく必要がある。身近な物から静電気をを用いてナノ MP を吸着除去する方法が確立されれば、現在まだなされていない砂浜のナノ MP 残留量の調査等に活用し MP 問題の解決の糸口にもなるのではないかな。

7. 謝辞

担当教諭の本校の浮田裕先生、本校サイエンスアドバイザーの皆様には本研究についてご指導頂いたことに深く感謝致します。また本研究を進めるにあたって、支えてくださったすべての方に感謝の意を表します。

参考文献・参考URL

- 1) 高柳真: 科学でひもとく楽しい静電気, 日刊工業新聞社, 2011
- 2) 斎藤勝裕: プラスチック知られざる世界, C&R 研究所, 2018
- 3) ミヒル・ロスカム・アビング著, 藤原幸一訳: プラスチックスープの地球-汚染される「水の惑星」, 2019
- 4) [全国環境研会誌]: 海岸漂流量の評価のためのマイクロプラスチック採取方法, 2017
- 5) 山口晴幸: 海洋マイクロプラスチック汚染の現状, 2019
- 6) [静電気学会誌]: 絶縁体同士の摩擦帯電及び接触帯電に関する実験的検討, 2017
- 7) 村田雄司 帯電現象と材料表面 2005
- 8) 環境省: 「マイクロプラスチック採集調査」, 2014 ~2016
- 9) <https://www.data.jma.go.jp> , 詳細 (気温・蒸気圧・湿度) - 気象庁 | 過去の気象データ検索, 2020/11/16 参照