

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～

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科2年
沖 美沙紀 小林 陸 清水 陽太



研究の動機・目的1

研究目的 各条件下における静電気の発生状態を調べ、
それをもとに物理的手法を用いたMPの除去方法を探ること

静電気

- ・湿度、摩擦時に加える圧力、面積等の条件によって絶えず変化する
- ➡材質によって作られる帯電列も決まったものはない



- ・同材質の板上でも力のかけ方やこすり合わせる方向等によって局部的に極性帯電量は変化する

材質、湿度、温度といった条件を変えた時の静電気の帯電量を測定し、各条件下の静電気の性質を調べる。



マイクロプラスチック除去



研究の動機・目的2

プラスチック(特にポリエチレン類) ➡ 自然界で微生物に分解されにくい

海、砂浜でのマイクロプラスチックの残留問題

生物濃縮



砂浜に打ち上げられ、残留したプラスチック

生態系及び人間への害

現在のマイクロプラスチックの分離方法
「比重選別・ろ過・ふるい分け・目視」

ごく微小なものに関しては有効な手段が確立されていない



研究の動機・目的3

静電気を起こして帯電させた物体

➡近くにある物体を吸着する

マイクロプラスチックの残留問題
➡ナノマイクロプラスチックの除去方法が
確立されていない

物理的手法を用いた砂浜でのマイクロプラスチック除去

実験Ⅰ 各条件と静電気の帯電量の関係を調べる。



実験Ⅱ ガラスビーズとマイクロプラスチック吸着量をそれぞれ調べる。



先行研究と本研究の特徴

先行研究において

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

参考文献[6]

本研究において

収束値とする

ポリプロピレン
板

+

綿・毛・アクリル・ポリエステル・ナイロンの試料

これらの組み合わせで静電気を発生させ、布の材質及び温度、湿度の異なる観測系での収束値を調べる。

マイクロプラスチックの海洋、砂浜での除去は、振るいによる選別（**350 μ m**）が限界値

➡それよりも小さいMPは現在除去する手立てがない。

参考文献[3], [8]

実験Ⅱ 静電気をを用いた吸着除去の実験では、**300 μ m**のナノプラスチックを使用する。



静電気の発生方法及び測定方法1

測定方法

静電気の帯電量を比較する指標
→電圧[V] を使用



「Simco-Ion 静電気測定器 FMX-004」



2.5cmライン
(この線に静電気測定器の
下面を合わせる)

コルク板上に書かれた位
置に試料を設置して指定さ
れた場所に静電気測定器の
ライトを合わせる。



コルク板と2.5 c m間隔
の線が入れた台紙
が垂直になるように設
置した。

静電気の発生方法及び測定方法2

静電気の発生方法

ポリプロピレン板と荷重を加えた布試料をコルク板上で同一人物がゴム手袋を装着して左右に水平移動させてこすり合わせる

＊ 摩擦回数は1往復を1回として測定した

・なお、実験開始前にはPP板が除電されていることを確認し、布は摩擦させた後除電している。

・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。



静電気の発生方法及び測定方法3

除電方法

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。



布試料

アースに接続した銅板に摩擦させるごとに接触させ使用した。

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。

* 除電は $\pm 0.01 \text{ kV}$ までを許容範囲とした。



実験Ⅰ 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ポリプロピレン板を摩擦させた時に発生した静電気の帯電量を測定し, 摩擦回数とポリプロピレン板の帯電量を関係を調べる。

➡ 摩擦回数にしたがってポリプロピレン板の帯電量がどのように上がるのかを把握し, 実験Ⅱのポリプロピレン板の帯電量を変化させる時の指標とする。



実験 I 目的2

それぞれ温度の違う観測系において、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/m^3) の関係についてグラフ化する。

➡ 空気中の水分量と静電気の帯電量の関係を調べる。



実験Ⅰ 実験方法1

前述の通りの手順で、綿、毛、アクリル、ポリエステル、ナイロンを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262gのおもりを使用した。



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80mm*100mmとなっている。



実験 I 実験方法2

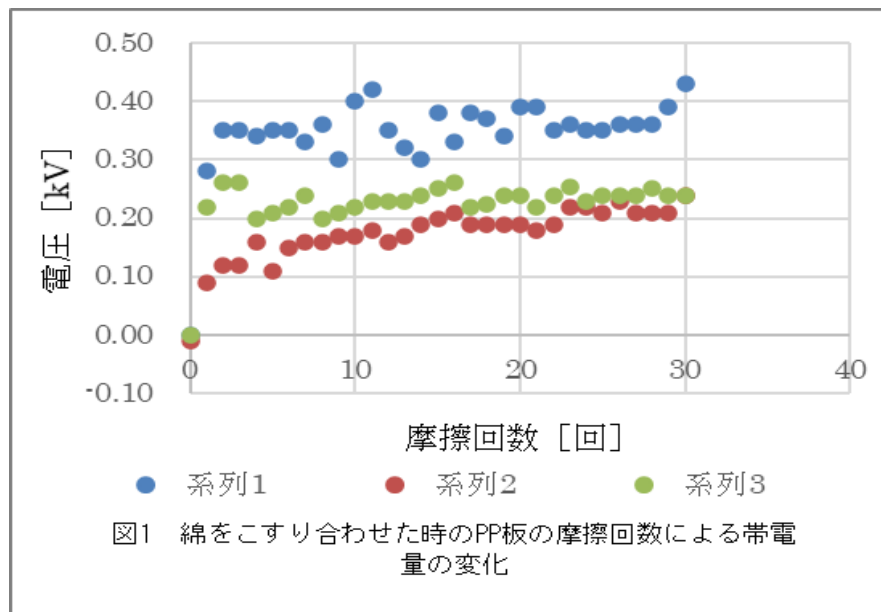
実験方法 I と同様の方法で布試料とポリプロピレン板を収束値に至るまで帯電させた。なお布試料については、5種類の中で各条件(湿度, 温度, ★水分量)のすべてについて分析するのに十分なデータが取れたものが綿であったため、綿を使用した。

★空気中1 m³あたりに含まれる水分量(g/m³)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。



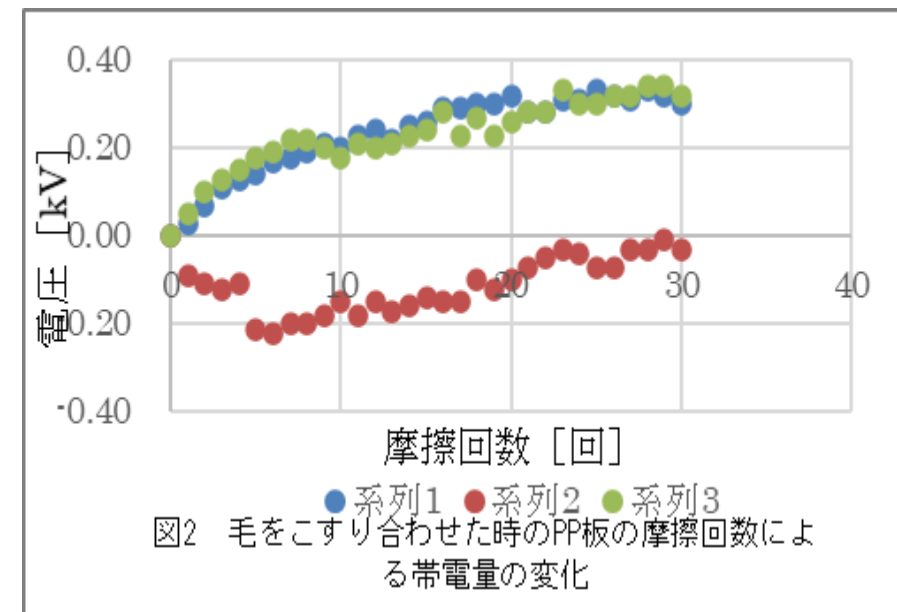
実験Ⅰ 実験結果及び考察1

・ポリプロピレン板の帯電量はどの布試料においても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。



綿

- ・自然繊維⇒値にばらつき
- ・安定したブラフ

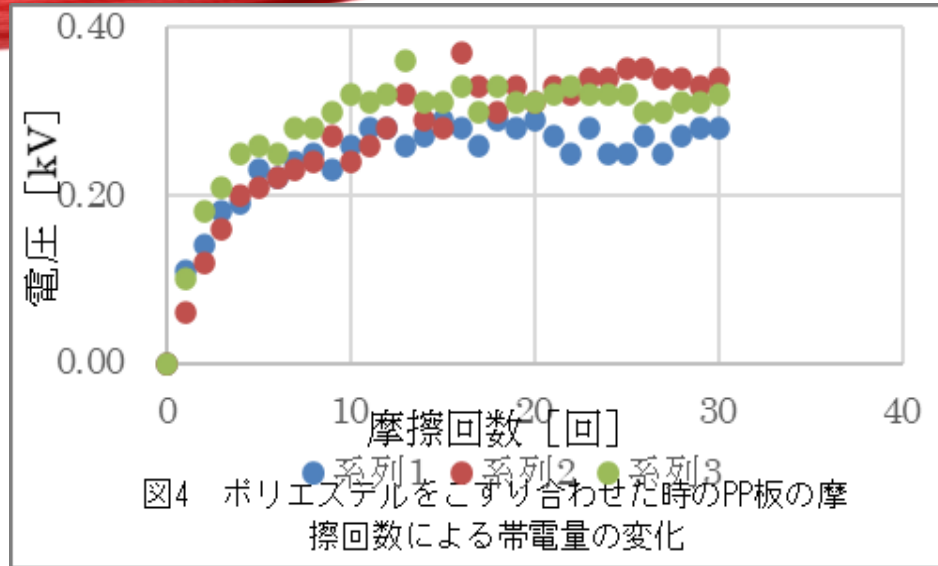


毛

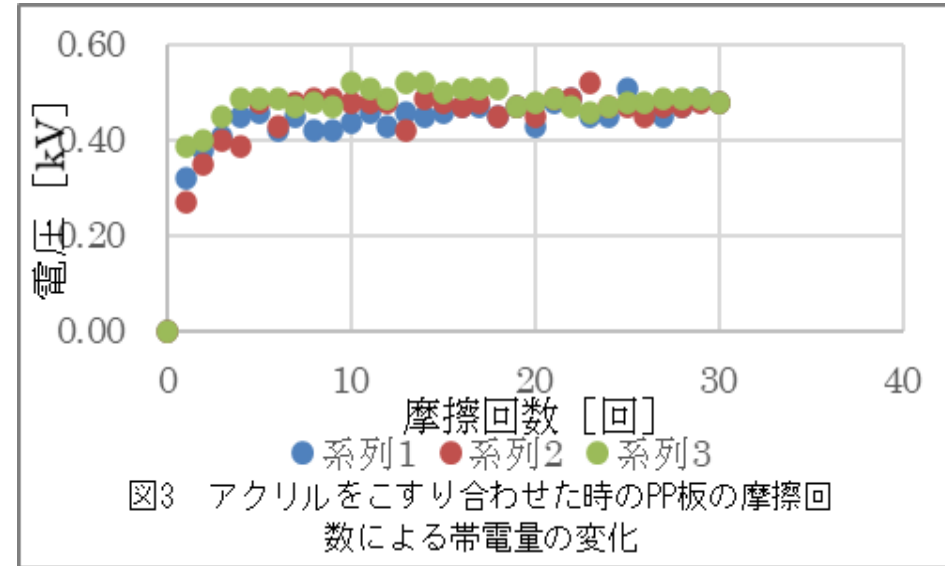
- ・プラスとマイナスにふれた



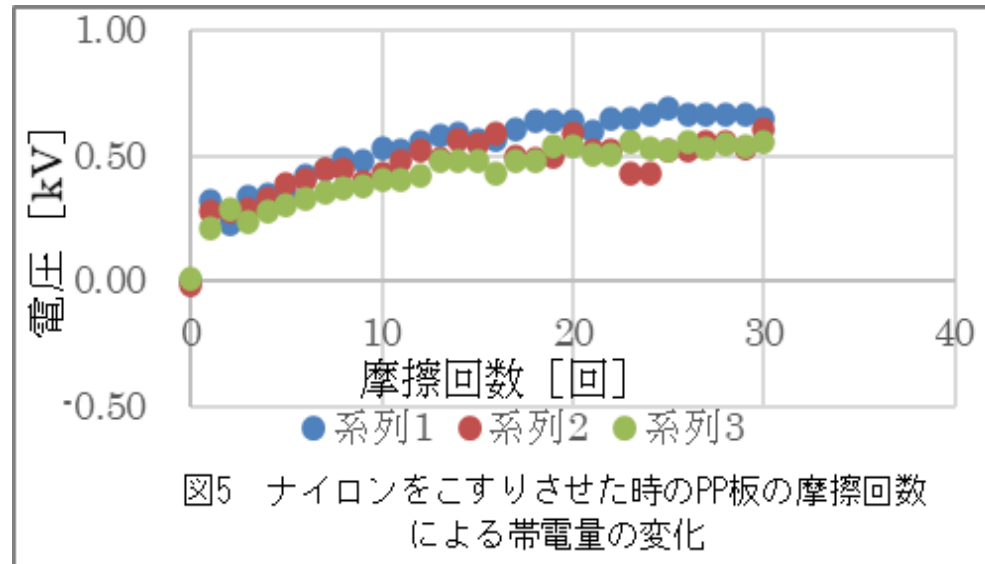
実験Ⅰ 実験結果及び考察2



↑ポリエステル
・ほとんど値にばらつきは見られなかった。



↑アクリル
・最も少ない回数で大きな収束値となった。



←ナイロン
・湿度57%で最大の収束値をとった。

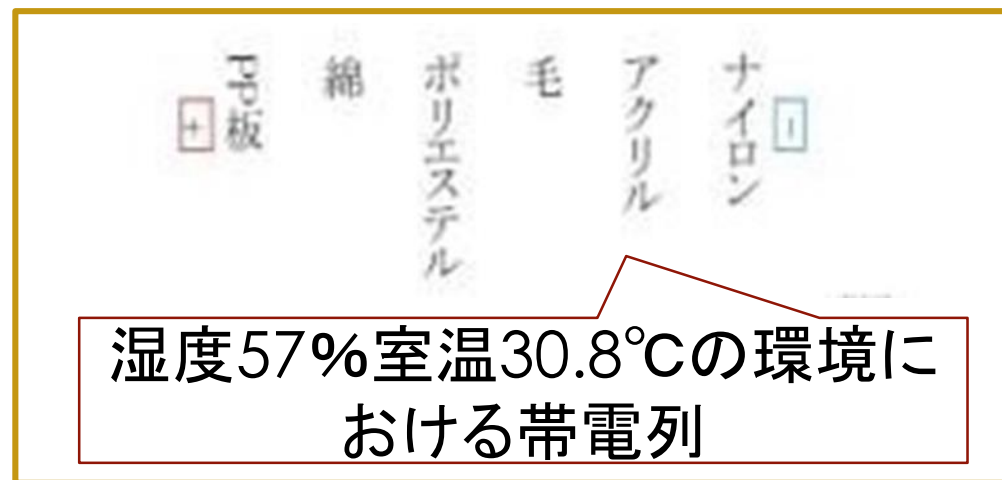
実験 I 実験結果及び考察3

・摩擦回数による帯電量の違いは5種類の布試料すべてにおいて20～100回間では帯電量の変化は見られなかった

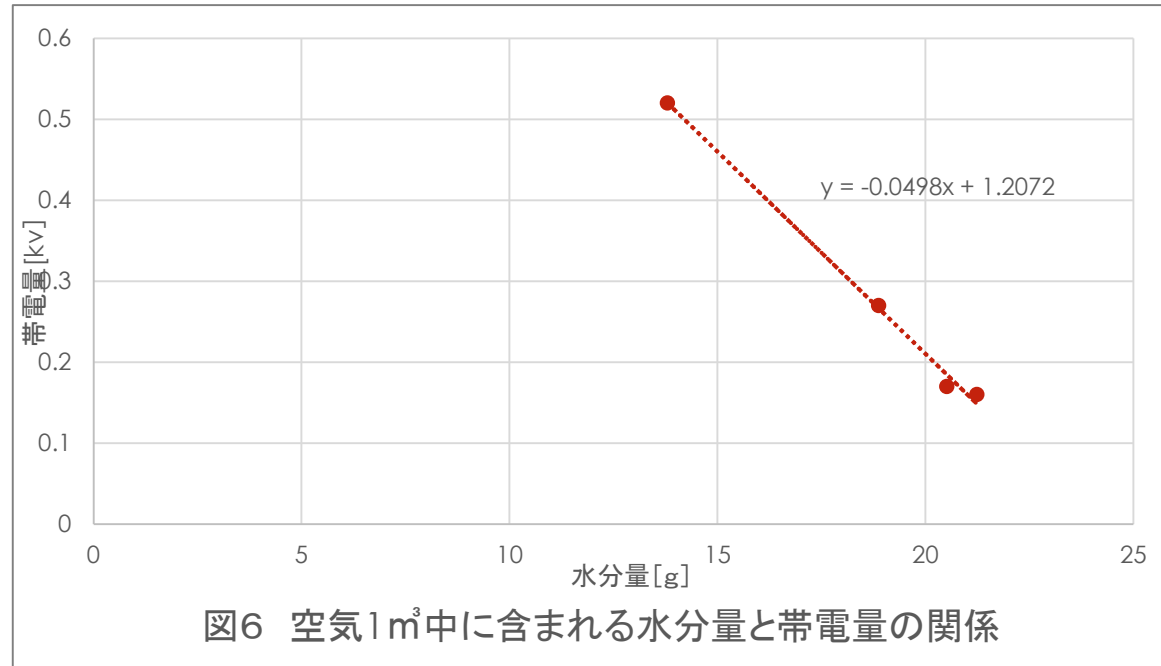
⇒30回までの間に収束値に到達しているといえる

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

各布試料の収束値一覧



実験Ⅰ 実験結果及び考察4



湿度 (%)	温度 (°C)	水分量 (g)	帯電量 (kv)
50	25.2	13.8	0.52
57	33.3	20.52	0.17
57	30.8	18.88	0.27
59	32.9	21.24	0.16

←データ一覧

・空気中の水分量が増えるほど帯電量は減少する傾向があり、その形は、

$$y = -0.0498x + 1.2072$$

に近似される

・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と静電気の帯電量は増加するといえる。



実験Ⅱ 目的

PP板の帯電量を変えた時、MP(300 μ m)およびガラスビーズ(石英)(300 μ m)の吸着量をそれぞれ測定し、砂に含まれる物質の一つである石英がMPと同質量であるとき、MPを分離除去するための最適の帯電量を探る。

石英を用いた理由

⇒砂に含まれる主要な材質であった

⇒マイクロプラスチックと同じ形状(球)のもので入手可能な材質であった



←マイクロプラスチック写真



実験Ⅱ 実験方法1

実験Ⅰと同様の方法を用いて、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各材質の★吸着量を測定した。

使用したもの

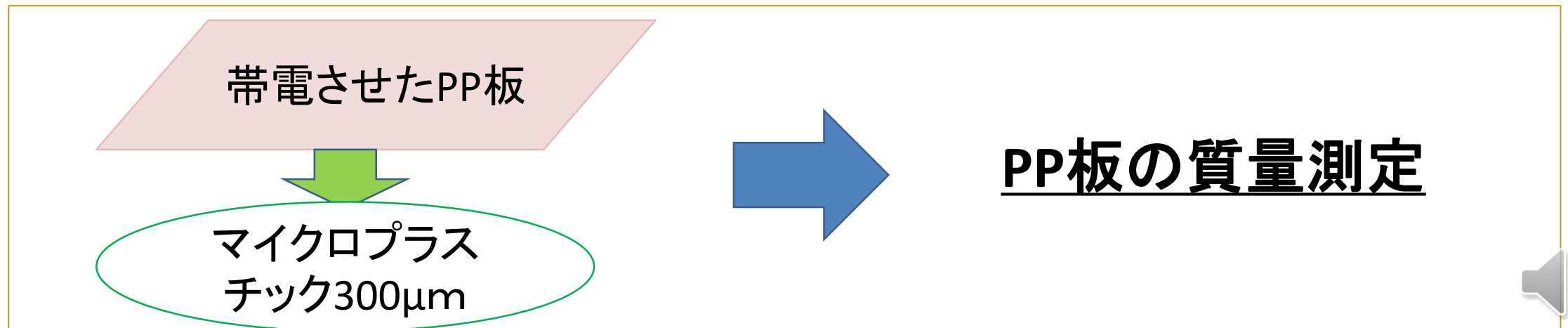
- 静電気測定に使用する器具
(実験Ⅰと同様のもの)
- 電子天秤(最小目盛0.0001g)
- MP(300 μ m)
- ガラスビーズ(300 μ m)
- シャーレ
- 0.1cmの厚さの台紙

★MP及びガラスビーズは目視で個数を数えることが困難であったため、吸着前後の板の質量変化を測定し、その後既存の値(密度)から1gあたりの各質量を算出して吸着量(個数)を求めた。

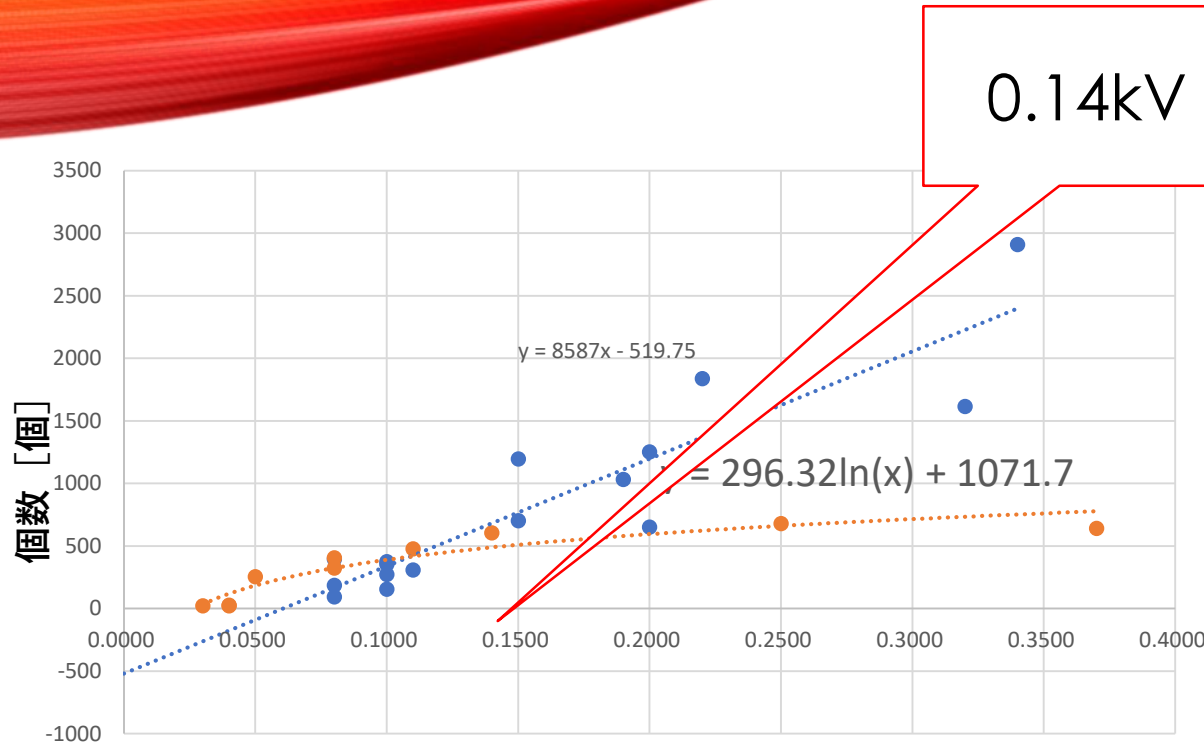


実験Ⅱ 実験方法2

1. PP板の質量を電子天秤（最小目盛0.0001g）で測定する
2. MP (300 μ m) または ガラスビーズ (300 μ m) を電子天秤で0.1gを量り取り、シャーレの上に均一に広げた
3. シャーレから0.1cm離れた状態でPP板を近づけ、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



実験Ⅱ 実験結果



赤: ガラスビーズ 青: MP 帯電量 [kV]

図8 帯電量と吸着量の関係

- ・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際はMPの方が吸着量が多くなった
- ・ガラスビーズの方が誘電率が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、吸着量が少なくなった

・ガラスビーズの吸着量は板の帯電量が0.14kV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はほぼ直線の形で帯電量の増加とともに吸着量が増加した。



MPは吸着量が増えるがガラスビーズは吸着量の増えない0.14kV以上の帯電量で吸着除去を行うのが望ましいと考えられる。



結論

- 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、やがて**一定の収束値を持つ**
- 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**になる
- MPとガラスビーズの分離は直径 $300\text{ }\mu\text{m}$ 球においては帯電量 **0.14kV 以上**が効率よく吸着除去ができると考えられている



今後の展望1

1. 静電気の計測、除電を自動化する

⇒より正確で多くのデータを取ることができ、板にかける圧力などの他の条件と静電気の帯電量の関係も調べられるのではないか。

2. MPの吸着量も収束値をとる可能性がある

⇒MPとガラスビーズの吸着量の収束値に至った帯電量の区間で吸着除去を行うのが望ましいと考えられる。



今後の展望2

3.本研究では1つの理想化された環境での吸着除去しか行えなかった

⇒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う必要があるだろう。

4.現在まだ砂浜でのマイクロプラスチックの残留量の調査が行われていない

⇒身近なものをを用いた静電気によるマイクロプラスチックの除去が可能になればこのような調査に利用できるのではないか



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 プラスチックの知られざる世界 C&R研究所 2018
- [3]ミhil・ロスカム・アビング 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]海岸漂流物の評価のためのマイクロプラスチック採集方法 2017
- [5]山口晴幸 海洋マイクロプラスチック汚染の現実 2017
- [6][静電気学会誌]絶縁体同士の摩擦帯電および接触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 | 過去の気象データ観測

2020/11/16 参照



ご清聴ありがとうございました。

