

ホコリと静電気

～静電気は掃除の味方になり得るか～

泉谷 楓花 松崎 未来 宮川 あすか

1. 要旨

たまったホコリや砂を掃除する手法として静電気を用いることが可能か検証した。ここでは、主にホコリの主成分であるアクリル・ウールの繊維と本校グラウンドの砂の質量と引きつける距離の関係に焦点を当てた。結果として、静電気で行きつけることができる距離は小さく、質量に関わらず一定であった。また静電気量が大きくても距離が大きいとは限らなかった。砂は繊維よりも引きつけられにくいことが分かった。以上より、静電気を用いて掃除機のようにホコリや砂を集めることは困難であると結論づけた。

2. 研究目的

校舎内のたまったホコリを掃除する手間をなくしたい。これが本研究の最大の動機である。掃除機などの便利な掃除道具はたくさん存在するが、広範囲にたまったホコリを掃除しようとする時、時間的にも体力的にもかなりの手間が必要である。逆に言えば、掃除が必要な範囲が狭ければ手間がかからないということである。そこで、広範囲のホコリを自動的に引きつけることで手間をなくすことを目的とし、静電気に着目した。

3. 研究方法

先行研究より、ホコリの構成成分のうち、およそ7割が繊維であることが分かった。そこで、本研究ではまず繊維に着目して実験を行った。実験②では、実際のホコリとも比較した結果、砂を使うことにした。

3.1. 予備実験①

先行研究より、静電気により塵埃が付着することが分かった。地面にある繊維に着目し、静電気で行きつけることができると仮説を立てた。部屋で繊維が集められる様子をモデル化するために、プラスチックケースを部屋に見立て、プラスチックケース内に収まるプラスチックストローを用いて、実験を行った。

本実験では、毛糸を巻いて毛糸ボール（図1）を作成した。このボールは、表面が毛糸の断面の集まりであるため、こすることで一様に繊維をまき散らすことができる。



図1 毛糸ボール

3.1.1. 準備物

毛糸（アクリル，ウール），温湿度計，ティッシュ，プラスチックストロー，プラスチックケース

3.1.2. 実験方法

- I. プラスチックケースの上で毛糸ボールをこすって繊維をまき散らす。
- II. ストローをティッシュで15回こすって静電気を発生させる。
- III. こすったストローをケースに置き（図2），繊維の動きを観察する。

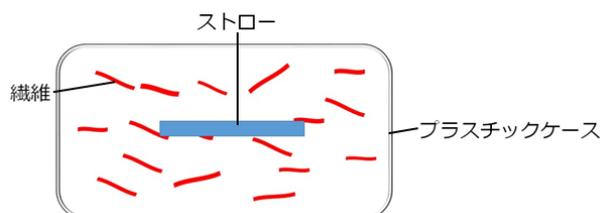


図2 予備実験①の略図

3.2. 予備実験②

予備実験①を行う中で、空中にある繊維でも同じようなことが言えるのかと考えた。そこで、空中にある繊維に着目し、静電気で繊維を引きつけることができると仮説を立てた。

3.2.1. 準備物

物理スタンド、毛糸（アクリル、ウール）、温湿度計、ティッシュ、プラスチックストロー、水槽

3.2.2. 実験方法

- I. ストローを固定するための物理スタンドと、繊維を受け止めるための水槽を設置する。
- II. ストローをティッシュで15回こすり、物理スタンドで固定する。（図3）
- III. ストローの約10cm上で予備実験①と同様の毛糸ボールをこすって繊維をまき散らし、動きを観察する。

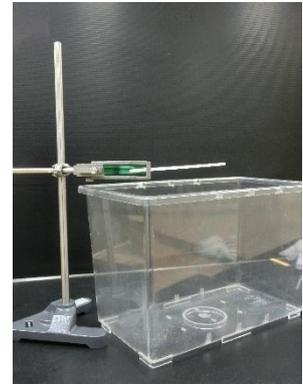


図3 予備実験②の様子

3.3. 実験①

予備実験①②より、大きいかたまりの繊維は引きつけられなかったことから、静電気による繊維の引きつけやすさには質量が関係すると思った。繊維のかたまりが小さいほど静電気により引きつけられやすくなるという仮説を立てた。

3.3.1. 準備物

ものさし、物理スタンド、PVCパイプ、ゴムマット、ペーパータオル、温湿度計、静電気測定器、毛糸（アクリル、ウール）

3.3.1.1. 静電気測定器

本装置は、帯電物から検出センサ部に届く電気力線の本数によって、電気量[kV]を測定するものである。測定値、測定範囲は距離によって変わるため、本実験では測定部から約10cm離して測定した。

（図4）



図4 静電気測定器

3.3.2. 実験方法

湿度をコントロールすることは難しいため、測定して50%前後の時に繊維の質量を変えて、10回ずつ水平方向と鉛直方向について実験を行った。（図5）

水平方向と鉛直方向の2つの方向から繊維にPVCパイプを近づけ、繊維がPVCパイプに引きつけられた時、水平方向の場合は、床面に接して移動するため、摩擦力の影響を受け、鉛直方向の場合は、重力の影響を受けると考えた。

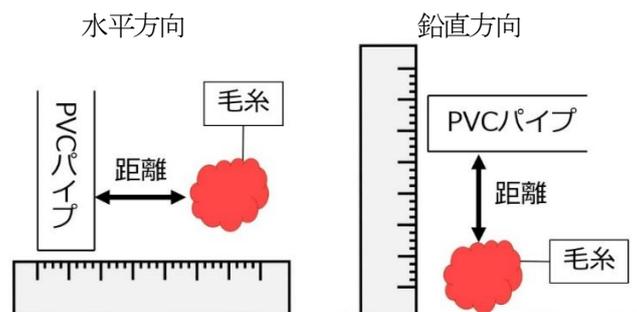


図5 実験①の略図

- I. 1 cm に切った毛糸をほぐす。
1 cm 分の毛糸の質量は約 5 mg。以下、ほぐした毛糸を毛糸とする。(図 6)
- II. 毛糸をゴムマットの上に置く。
- III. ペーパータオルで PVC パイプを 15 回こすり、静電気測定器を使って PVC パイプの静電気を測定する。
- IV. PVC パイプを毛糸に近づけていき、毛糸が引きつけられた時の PVC パイプと引き付けられる前の毛糸との距離を測る。(距離が大きいほど引き付けやすいとする。)

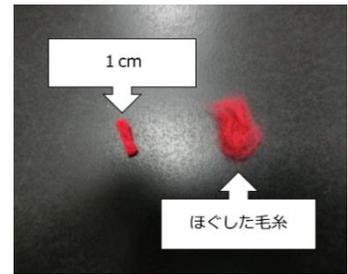


図 6 ほぐした毛糸の様子

3.3.3. 引きつけられたとする定義

毛糸が PVC パイプに引きつけられた時、静電気による毛糸の動きには様々なパターンがあった。そこで、毛糸の動きを 5 パターンに分類し、引きつけられたとする定義 (図 7) を作って、引きつけられたかどうか判断した。

パターン 1 は、毛糸が PVC パイプに完全にくっついた状態、パターン 2 は、毛糸の片側だけ PVC パイプにくっつき、もう片側は床にくっついた状態、パターン 3 は、毛糸の片側は浮いているが、PVC パイプにはくっついていない状態、パターン 4 は、毛糸の中の細い繊維が数本、静電気によって揺れているが、毛糸のかたまりは動いていない状態、パターン 5 は、毛糸が全く動いていない状態とした。ただし、パターン 2, 3 は水平方向の場合のみで考えた。

本実験では、パターン 1, 2, 3 は引きつけられたと定義し、パターン 4, 5 は引きつけられなかったと定義した。

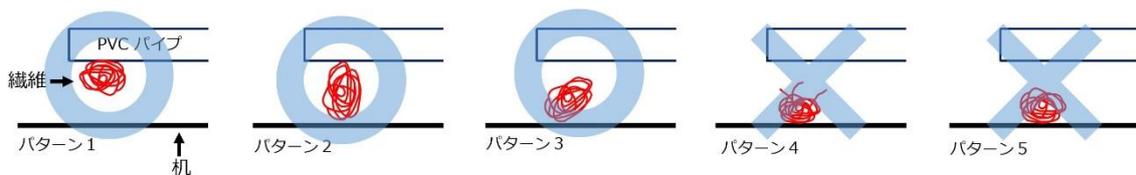


図 7 引きつけられたとする定義の略図

3.4. 実験②

実際に校舎内のホコリを観察してみると、粒状のホコリの上に繊維状のホコリが溜まっている様子が見られた。

(図 8) そこで、ホコリに PVC パイプを帯電させて近づけたところ、繊維状のホコリに対して、粒状のホコリが引きつけられにくかった。このことから、粒状のホコリがホコリ全体を引きつけられにくくする原因だと考えた。私たちの高校は校舎内を土足で移動するため、粒状のホコリが砂であると仮定し、砂は静電気によって引きつけられるかどうかを調べた。粒状のホコリが引きつけられにくかったことから、砂は静電気によって引きつけられないという仮説を立て、この仮説が立証されることにより、砂が構成成分としてホコリに含まれると、ホコリ全体が引きつけられにくくなるとした。



図 8 観察した粒状と繊維状のホコリの略図

3.4.1. 準備物

ものさし、物理スタンド、PVC パイプ、ゴムマット (絶縁体)、ペーパータオル、温湿度計、静電気測定器、校庭の砂 (各実験 20mg)

3.4.2. 実験方法

湿度をコントロールすることは難しいため、測定して 50% 前後の時に実験を行った。

- I. ふるいにかけた砂をゴムマットの上に置く。
- II. ペーパータオルでPVCパイプを15回こすり、静電気測定器を使ってPVCパイプの静電気量を測定する。
- III. PVCパイプを砂から2cmの距離まで近づけ、砂の動きを観察する。

実験①の結果より、繊維が引きつけられる距離の平均が2cmであった。2cmの距離で砂が引きつけられなかった場合、ホコリ全体が引きつけられる妨げになると考え、2cmと設定した。(図9)

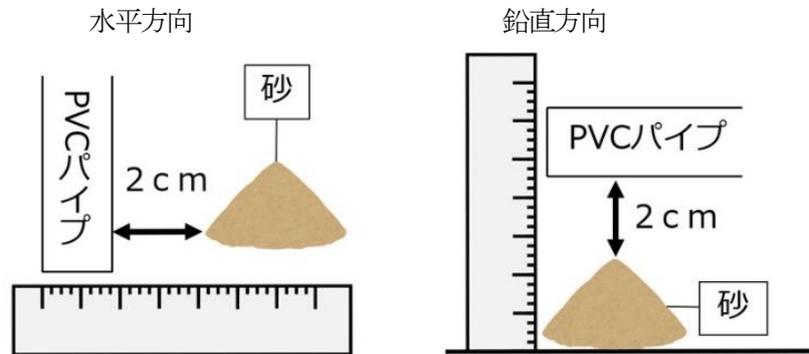


図9 実験②の略図

4. 結果・考察

4.1. 予備実験①

4.1.1. 結果

アクリル、ウールともにストローの真下にある繊維のみ引きつけられた。ストローのまわりから繊維が引きつけられる様子は見られなかった。かたまりとなっていた繊維は引きつけられなかった。

4.1.2. 考察

静電気によって地面に落ちている繊維を引きつけることができた。静電気量は表面積が大きいほど大きくなる。実験で用いたストローでは表面積が小さすぎて、ストローのまわりの繊維やかたまりとなっていた繊維を引きつけるのに十分な静電気量を得られなかったと考えた。また、モデル化する際に繊維を縮小することが難しく、部屋のモデルに対して繊維が大きすぎた。そのことより、ストローにより発生する静電気量に対して繊維が大きかったため、ストローの真下にある繊維しか引きつけることができなかったと考えた。

4.2. 予備実験②

4.2.1. 結果

アクリル、ウールともにストローの近くを通り過ぎた細かい繊維は引きつけられた。ストローから離れたところを通った繊維やかたまりとなっていた繊維は引きつけられなかった。

4.2.2. 考察

静電気によって空中にある繊維を引きつけることができた。予備実験①と同様、得られた静電気量が小さかったと考えられる。そのため、繊維が引きつけられる範囲が狭く、より質量が大きい、かたまりとなっていた繊維は引きつけられなかった。

4.3. 実験①

4.3.1. 結果

質量[mg] \ 実験回数	5	15	25	35
1	1.6	1.3	0.0	1.7
2	1.1	2	1.4	2.9
3	0.0	2.2	1.4	1.4
4	2.4	2.4	0.8	2.5
5	1.8	2.5	2.0	1.8
6	1.1	3.1	2.2	1.5
7	1.7	1.8	1.0	2.3
8	3.4	2.6	2.0	1.7
9	1.7	2.0	3.4	2.5
10	2.5	1.8	3.0	1.9

表1 水平方向 (アクリル)

質量[mg] \ 実験回数	5	15.0	25	35
1	2.2	1.0	2.5	0.0
2	1.0	2.8	2.7	2.8
3	2.1	2.5	1.6	0.0
4	3.0	2.3	2.3	0.7
5	4.0	2.0	2.2	2.5
6	3.3	0.1	0.0	3.9
7	2.0	1.8	1.6	3.0
8	1.7	2.0	2.3	2.2
9	1.9	3.3	2.0	1.0
10	0.7	3.5	3.1	2.0

表2 鉛直方向 (アクリル)

質量[mg] \ 実験回数	5	15	25	35
1	1.1	1.0	1.7	0.1
2	1.4	0.6	0.4	0.9
3	0.4	0.4	2.0	0.6
4	0.0	0.0	3.7	0.6
5	0.1	0.3	1.5	0.7
6	0.0	0.5	2.5	1.1
7	0.5	1.1	2.6	0.7
8	1.1	0.9	0.6	0.4
9	0.2	0.4	1.0	0.2
10	2.4	0.6	0.4	0.2

表3 水平方向 (ウール)

質量[mg] \ 実験回数	5	15	25	35
1	1.3	0.5	1.9	1.9
2	0.6	0.5	0.9	0.7
3	1.0	0.5	1.0	0.8
4	0.3	2.5	0.0	0.5
5	1.0	1.0	0.0	0.8
6	1.2	1.0	0.5	0.9
7	1.3	1.0	0.8	0.8
8	0.6	0.5	0.7	1.9
9	0.0	1.0	0.9	0.6
10	1.0	0.9	0.9	0.5

表4 鉛直方向 (ウール)

実験①で引きつけられた距離 [cm] の結果を表1～表4に表した。表内の0.0cmという結果は、毛糸が引きつけられなかったことを意味する。3.7cm (表3 25mg4回目), 2.5cm (表4 15mg4回目), 1.9cm (表4 25mg1回目) は外れ値とみなす。0.0cmと外れ値を除いたデータを箱ひげ図にまとめ、分析した。(図10, 図11)

図10より、質量ごとの平均値を見ると、アクリルとウールともに、質量によって距離にあまり差はなかった。アクリルはおよそ2cm, ウールはおよそ1cm引きつけられた。

図11より、水平方向の場合と同様、質量によって距離にあまり差はなく、水平方向と同じくらい引きつけられた。

図10, 図11より、質量に関わらず、アクリルはおよそ2cm, ウールはおよそ1cm引きつけられたことから、化学繊維であるアクリルよりも、天然繊維であるウールのほうが引きつけられにくい。化学繊維であるアクリルと天然繊維であるウールの引きつけられた距離に差はあったが、どちらも静電気で引きつけることができた。

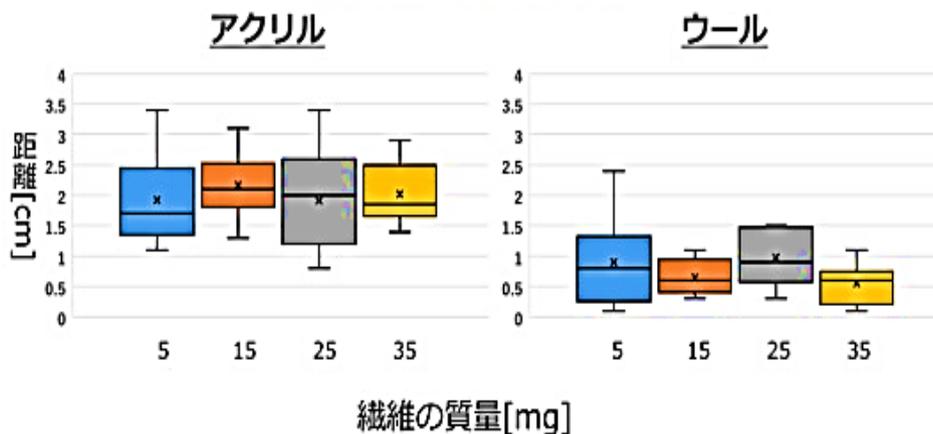


図10 表1, 表3の結果の箱ひげ図 (水平方向)

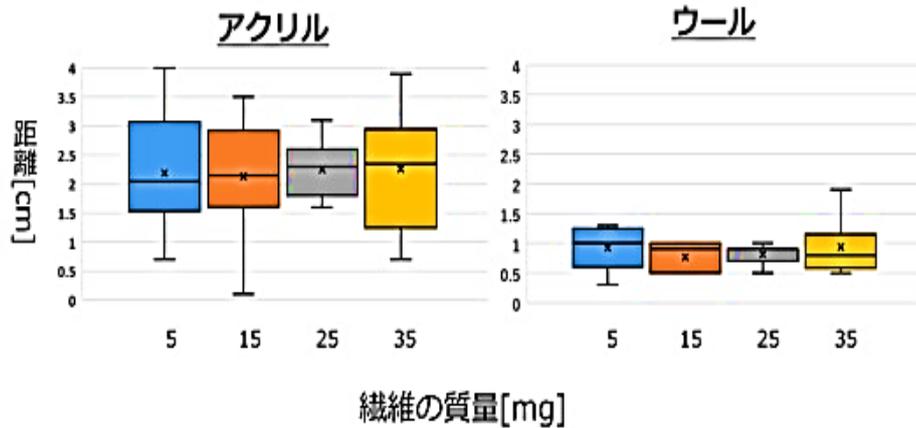


図 11 表 2, 表 4 の結果の箱ひげ図 (鉛直方向)

図 12 は、ウールを水平方向で行った結果とアクリルを鉛直方向で行った結果を例として出した。実験ごとに PVC パイプをこする回数は同じにしていたが、手で静電気を発生させたため、静電気量に差があった。しかし、図 12 から分かるように、静電気量が大きくても引きつける距離が大きいとは限らなかった。

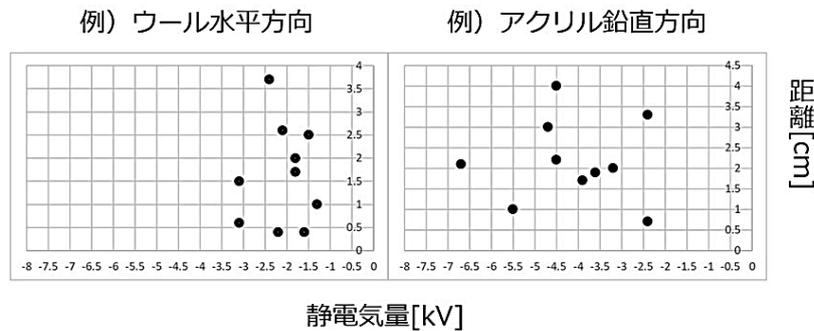


図 12 静電気量と引きつけられた距離の関係 (例)

4.3.2. 考察

質量を変えても引きつけられる距離はほとんど変わらなかったことから、ホコリ程度の質量では、重力、摩擦力の影響を考えなくてもいいと考えた。化学繊維であるアクリルと天然繊維であるウールともに静電気で引きつけることができたことから、静電気は繊維を集める手段として用いることができる。静電気量が大きくても引きつける距離が大きいとは限らなかったことから、PVC パイプをこすることで発生する程度の静電気量であれば、引きつけやすさにさほどの影響はないと考えた。

4.4. 実験②

4.4.1. 結果

砂は数粒しか引きつけられなかった。(図 13)



図 13 引きつけられた数粒の砂の様子

4.4.2. 考察

静電気により引きつけられにくい原因として、質量が大きいことと、距離が大きいことが考えられた。砂は粒どうしが接着されておらず、かたまりになっていない。そのため、引きつけられるときは各粒がそれぞれ引きつけられることになるが、一粒の質量は小さいため、質量が大きかったことが原因で引きつけられなかったとは考えられないとした。よって、質量ではなく距離が原因であると考えた。以上より、砂を引きつけるには 2cm では距離が大きすぎたと考えた。結果的に砂はホコリ全体を引きつける妨げになり得るとした。

5. 結論

本実験を通していえることとして、繊維がおよそ2cm引きつけられたことから、帯電したPVCパイプを部屋に4cm間隔で設置すると、部屋のすべての範囲のホコリを静電気によって引きつけることができる。(図14)しかし、帯電したPVCパイプを部屋に4cm間隔で設置することは、現実的でない。さらに、砂はホコリ全体を引きつける妨げになり得るため、図の範囲でも静電気によって繊維が引きつけられない可能性がある。以上より、本研究において、静電気はホコリを集める実用的な方法とは言えないと考えられる。

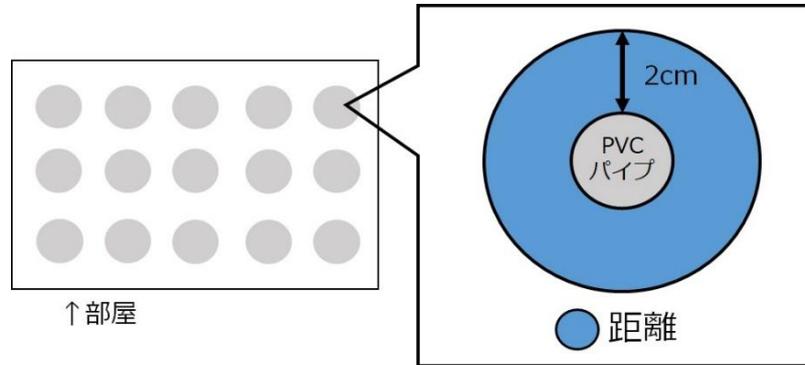


図14 部屋全体のホコリを引きつける場合の戦略図

6. 今後の展望

静電気がホコリに影響を及ぼす範囲が2cmと狭いため、静電気の影響が及ぶ範囲にホコリを移動させる方法を考える。実際のホコリには髪の毛も含まれているので、髪の毛が繊維の移動に影響を及ぼすのか考察を深める。

7. 参考文献

- ・ダスキン：<https://www.duskin.co.jp/rd/laboratory/feature/dust/01/>「ホコリ」とは何か | 開発研究所 | 株式会社ダスキン (duskin.co.jp)
- ・静電気の発生とその防止：西田哲之