

ガラスの汚れと水滴の接触角

河野 有紗 新開 未菜 山崎 実華

1. 要旨

ガラスは表面の状態によって、さまざまな性質をもつことを知っているだろうか。

ガラスの性質は主に親水性、疎水性、撥水性の3つに分けられる。通常、ガラスは親水性を示すが、汚れが付着すると疎水性に変化する。親水性は水滴がガラス表面に広がりにくい性質、疎水性は水が薄く広がらず、水滴として残る性質である。一方、撥水性は水をよくはじく性質である。これらの性質は、ガラス表面と水滴の接触角で評価される。

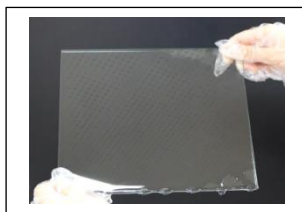
私たちは、ガラスに付着する砂のような汚れに着目し、ガラス表面に付着した粒子の大きさや密度は、水滴の接触角にどのような影響を与えるのか疑問に思い、調べることにした。そこで、本研究では、砂と成分的に近く、粒子の大きさにばらつきの少ない研磨材を用いて実験を行った。研磨材の大きさと水滴の接触角の関係、また粒子の密度と水滴の接触角との関係を調べた。これらの実験により、粒子の密度と水滴の接触角は、粒子の大きさが大きいときは負の相関、粒子の大きさが小さいときは正の相関となり、逆の相関を示すことがわかった。

今後の研究では、ガラス表面に滴下する液体の体積や粒子の成分が、水滴の接触角にどのように影響を与えるのかを調べ、粒子の密度と水滴の接触角の関係が逆の相関を示した原因を、より具体的に解明したい。

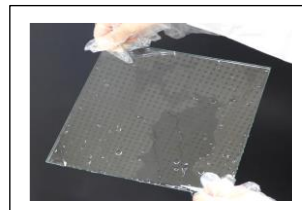
2. 先行研究

ガラスの性質は主に親水性、疎水性、撥水性の3つに分けられる。通常、ガラスは親水性を示すが、汚れが付着すると疎水性に変化する。親水性は水になじみやすく、水滴がガラス表面に広がりやすい性質を指し、疎水性は水が薄く広がらず、水滴として残る性質である。一方、撥水性は水をよくはじく性質である。これらの性質は、ガラス表面と水滴の接触角で評価される。接触角が 30° 以下であると親水性、 $30^\circ\sim 90^\circ$ であると疎水性、 90° 以上であると撥水性となる。

(図1)



親水性



疎水性

3. 研究動機

先行研究を調べる中で、ガラスは本来親水性を示すが、汚れが付くと疎水性を示すことを知り不思議に思った。ガラスの示す性質はガラス上の水滴の接触角により評価されるため、私たちは、ガラス表面に付着した粒子の大きさや密度が、表面の水滴の接触角にどのような影響を与えるかを調べることにした。特に、窓ガラスに付着する砂のような汚れに着目し、砂と成分的に近く、粒子のばらつきの少ない研磨材を使用して実験を行った。

4. 予備実験

目的：研磨材粒子の大きさのみを変化させ、粒子の大きさと水滴の接触角の関係を調べる。

概要：大きさが異なる2種類の研磨材を使用し、水滴の接触角を比較する。ガラスは窓ガラスに使用されているソーダ石灰ガラスを使用した。使用した研磨材粒子の大きさは大きいものが $106\sim 125\mu\text{m}$ 、小さいものが $45\sim 53\mu\text{m}$ である。

〈準備物〉

- ・ソーダ石灰ガラス板 (アズワン) ・研磨材 (大： $106\sim 125\mu\text{m}$ 小： $45\sim 53\mu\text{m}$)
- ・カメラ (パナソニック LUMIX DC-TX2D) ・三脚 ・物理スタンド
- ・黒いプラスチック板(背景用) ・マイクロピペット ・葉さじ ・台座 ・定規
- ・ビニール手袋 ・温度、湿度、気圧計 ・デジタル顕微鏡 ・1mm 方眼紙

〈実験方法〉

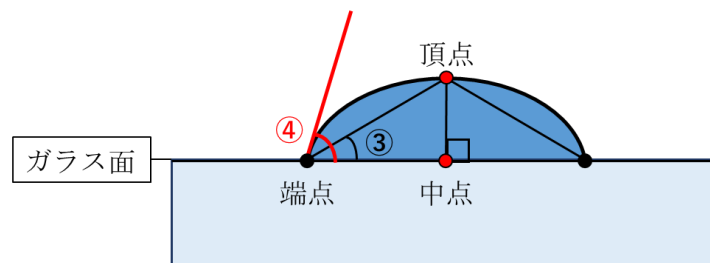
- ①電子天秤で研磨材を大小それぞれ0.01gずつ量りとり、ガラスにまんべんなく広げる。
- ②マイクロピペットで水を50 μl 量りとり。
- ③マイクロピペットを物理スタンドに固定し、水滴を滴下する。
- ④カメラをガラスに対して水平に構え、撮影する。
- ⑤水滴の接触角を測る。

〈水滴の接触角の測定方法〉

水滴の接触角を測定する方法として、 $\theta/2$ 法を用いた。この $\theta/2$ 法は、水滴を真円の一部とみなして測定する方法で、水滴の接触角の測定方法として一般的に用いられる方法の一つである。測定は以下の手順で行った。

- ①水滴の左右の端点間の距離を測りその中点を求める。
- ②求めた中点からガラス面に対して垂直な直線を引き、水滴の頂点を求める。
- ③水滴の頂点と左右それぞれの端点を通る直線を引き、ガラス面との角度をオンライン分度器を用いて測定する。
- ④測定した角度の値を2倍して水滴の接触角を求める。

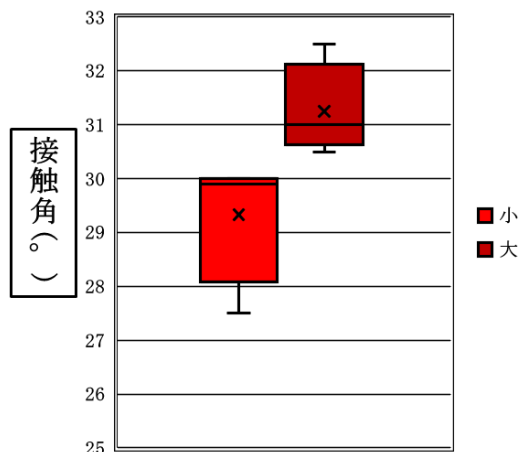
(図2)



〈結果〉

研磨材粒子の大きさが小 (45~53 μm) のとき、最小値は27.5°、最大値は30°、水滴の接触角の平均角度は29.3°となった。研磨材粒子の大きさが大 (106~125 μm) のとき、最小値は30°、最大値は32.5°、水滴の接触角の平均角度は31.3°となった。

(グラフ1) 粒子の大きさと水滴の接触角の関係



5. 本実験

目的：大きさが異なる研磨材粒子2種類それぞれで、研磨材粒子の密度と水滴の接触角の関係を調べる。

概要：ガラスにのせる一定面積当たりの研磨材粒子の個数を変化させ、水滴の接触角を調べる。大きさが異なる研磨材粒子2種類を使用する。使用した研磨材粒子の大きさは予備実験と同じである。

〈密度の測定方法〉

- ① デジタル顕微鏡を使って、1 mm方眼紙 に書いた 2 cm×2 cm の枠内にある研磨材粒子の写真を撮る。
 - ② 1つのサンプルにつき 20 か所程度の粒子数を数え、平均値をとって 1 mm²あたりの粒子の密度を求める。
- ※ 1 mm²あたりの粒子数を数える枠に入っていない、もしくは線上にあるものは、粒子1つとしてカウントしない。

〈実験方法〉

- ① 2 cm×2 cmの枠を書いた 1 mm方眼紙をガラスの下に敷き、研磨材をまんべんなく広げる。
- ② マイクロピペットで水を 60 μ l量りとする。

以下、予備実験③～⑤と同様

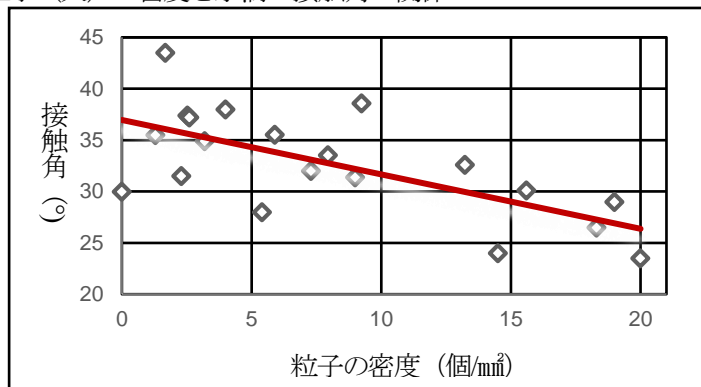
(図 3)



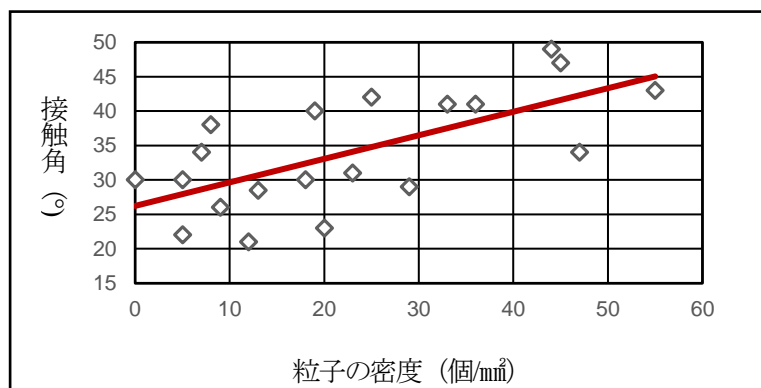
6. 結果

粒子の大きさごとに、横軸に研磨材粒子の密度を、縦軸に水滴の接触角をとり、グラフ 2, 3 に示した。

(グラフ 2) 研磨材粒子 (大) の密度と水滴の接触角の関係



(グラフ 3) 研磨材粒子 (小) の密度と水滴の接触角の関係



グラフ2は、研磨材粒子（大）の1mmあたりの密度と水滴の接触角との関係を、グラフ3は研磨材粒子（小）の1mmあたりの密度と水滴の接触角との関係を示している。

グラフ2より、粒子（大）を使用したとき、粒子の密度が大きくなるほど水滴の接触角の値が小さくなっていることがわかる。グラフ3より、粒子（小）を使用したときには粒子（大）を使用したときと反対に、粒子の密度が大きくなるほど水滴の接触角の値が大きくなっていることがわかる。

よって、研磨材の粒子の密度と水滴の接触角には、粒子（大）を使用したときは正の相関、粒子（小）を使用したときは負の相関がみられたと言える。

ただし、グラフ2, 3における相関係数はそれぞれ-0.66928, 0.667868である。一般的に、相関の強さは表1に示したような値の範囲を目安に判断される。ゆえに、グラフ2, 3における相関係数は、それぞれ中程度の負の相関、中程度の正の相関を示していると判断できる。グラフ2, 3においてデータ数はともに20個程度あり十分であると考え、ガラス上の粒子の密度と水滴の接触角は何らかの関係があるといえる。

(表1) 相関の強弱の目安

相関係数 r の値の範囲	相関の強弱
$-1 \leq r \leq -0.7$	強い負の相関
$-0.7 \leq r \leq -0.4$	(中程度の) 負の相関
$-0.4 \leq r \leq -0.2$	弱い負の相関
$-0.2 \leq r \leq 0.2$	ほとんど相関がない
$0.2 \leq r \leq 0.4$	弱い正の相関
$0.4 \leq r \leq 0.7$	(中程度の) 正の相関
$0.7 \leq r \leq 1$	強い正の相関

7. 考察

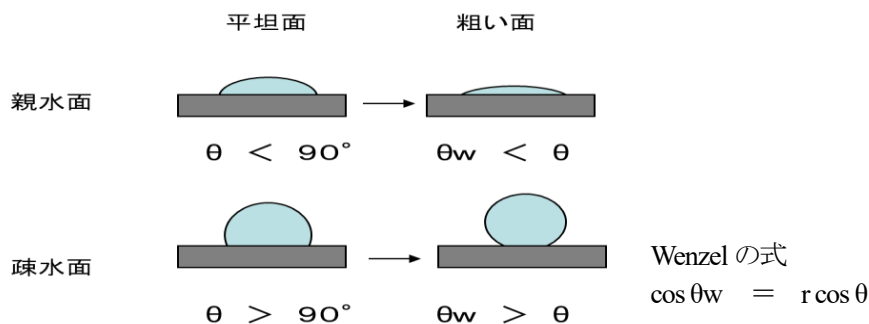
5) アドヒージョン株式会社の研究から以下のことがわかっている。

θ_w は粗い面上での接触角を表し、 θ は同じ材質で平坦面での接触角を表す。 r は平面に対する粗面の面積比 ($r \geq 1$) を表す。表面が粗いほど、面積比 r は増大する。この面積比に対して、図2のように、接触角を図示できる。Wenzel の式は、 $\theta < 90^\circ$ 度では $\theta_w < \theta$ となり、 $\theta > 90^\circ$ 度では、 $\theta_w > \theta$ となることを示している。すなわち、図2に示すとおり、表面粗さが増加するにつれて、親水性表面では接触角が小さくなり、親水性が強調され、疎水性表面では接触角がさらに増大し、疎水性が強調されるとわかっている。

私たちの研究から粒子の大きさが $106 \sim 125 \mu\text{m}$ のとき、密度が大きくガラス表面の粗さが増すほど、接触角が小さくなりこの傾向がみられた。一方で、粒子の大きさが $45 \sim 53 \mu\text{m}$ のとき、密度が大きくガラス表面の粗さが増すほど接触角が大きくなり、反対の結果が得られた。

私たちは粒子の大小によって生じるガラス表面の粗さと密度のみを変化させて研究を行っているため、粒子の大小によってグラフの傾きが変化したことに対する説明はできない。しかし、汚れのモデルとしてのせた研磨材の粒子大小の成分を変化させていないこと、ガラスに滴下した液体の体積に差を変化させていないことから、粒子の大小でグラフの傾きが変化したのは粒子の粗さ以外に何らかの別の違いが生じているのではないかと考えられる。

(図4)



8. 結論

本研究では、ガラスに付着する砂のような汚れに着目し、ガラス表面に付着した粒子の大きさと水滴の接触角の関係、また粒子の密度と水滴の接触角との関係を調べた。

粒子の密度と水滴の接触角は、粒子の大きさが大きいときは負の相関、粒子の大きさが小さいときは正の相関を示すことが分かった。しかし粒子の大小によって粒子の密度と接触角が逆の相関を示すことになったことについては粒子の大小によって生じるガラス表面の粗さと密度のみを変化させて行っている本研究からでは、十分に説明できない。

私たちは汚れのモデルとしてのせた研磨剤の粒子の成分に大小で変化をさせていないこと、ガラスに滴下した液体の体積に差を変化させていないことから粒子の大小でグラフの傾きが変化したのは粒子の粗さ以外に何らかの別の違いが生じているのではないかと考えた。

9. 今後の展望

今回の実験では、粒子の大きさが2倍程度異なる研磨材を用いて、ガラス表面に付着した粒子の密度と水滴の接触角の関係を調べた。その結果、粒子の大きさによって逆の相関がみられた。つまり、粒子の大きさが大きい場合には粒子の密度が増加するにつれて接触角が小さくなり、粒子の大きさが小さい場合には粒子の密度が増加するにつれて接触角が大きくなるという結果が得られた。

今後の研究では、ガラス表面に滴下する液体の体積や粒子の成分が、水滴の接触角にどのように影響を与えるのかを研究し、粒子の密度と水滴の接触角の関係が逆の相関を示した原因を、より具体的に解明したいと考えている。

- ・液体の体積変化実験

ガラス表面に滴下する液体の体積を変化させながら、接触角を測定する。

- ・粒子の成分変化実験

異なる成分を持つ研磨材を用意し、それぞれの粒子の大きさによって接触角を測定する。

10. 参考文献

- 1) 村松千秋."砂の汚染と混和剤".J-STAGE 材料 71 巻 11 号(公益社団法人日本材料学会 発行).1970-09-22.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsms1963/20/208/20_208_20_article/-char/ja/.(参照 2022-07)
- 2)小室拓弥.その他3名."表面構造と水接触角の関係に関する研究:素地を変更した場合の比較(材料施工)"J-GLOBAL.2015-12-05
https://jglobal.jst.go.jp/detail?JGLOBAL_ID=201602280016557403.(参照 2022-07)
- 3)三洋貿易株式会社 科学機器部. "接触角とは?". <https://www.sanyo-si.com/learn/report/01/> (参照 2022-07)
- 4)オンライン分度器 https://www.ginifab.com/feeds/angle_measurement/online_protractor.ja.php
- 5) アドヒージョン株式会社.基礎技術解説”表面粗さと素材割合によって接触角は変化する”
<http://www.adhesion.co.jp/technology/wet/0102.html> .参照 (2023 - 07)

11. 謝辞

担当の伊賀先生、研究内容について多くのアドバイス、ご指導をしてくださった先生方に心から感謝申し上げます。