

# クラウンはどんなちよると？ ～2年目の挑戦～

五ヶ瀬中等教育学校 3年 森みなみ

## I. 要旨、概要

昨年、きれいなクラウンを作ってみたいという気持ちから始まり、同じ液体どうしてクラウンを作ってきた。今年は異なる液滴と液面の組み合わせではどのようなクラウンができるのか不思議に思い次の4つの研究を行った。

- ・研究①「水とサラダ油を組み合わせでクラウンはできるのか？」
- ・研究②「洗剤水も組み合わせで実験を行い表面張力の影響を探る」
- ・研究③「液面や液滴を物体に置き換えて検証する」
- ・発展研究④「二層の液面に液滴を落とすとどうなるのか？」

その結果、同じ液体どうしのクラウンでは見られなかった高さのあるクラウンや鋭いとげのあるクラウンなど多く発見することができた。また、クラウンには粘度や表面張力などの力も関わっているということ、落ちてきた液滴とバットの中の液面の二層から形成されているということが分かってくる。

ラーメンのスープから発想を得た発展研究④では、クラウンが二重にできる現象と出会うことが出来た。

## II. 問題提起、研究目的

昨年の自由研究では、テレビで見て不思議に思ったクラウン現象を再現することと、きれいにクラウンが形成される条件を探った。高さや深さの条件を変えながら何度も実験を繰り返した結果、水・牛乳・カルピス・コーラのクラウンを作ることができたが、サラダ油ではクラウンを作ることはできなかった（画像1参照）。研究を通して、液滴を落とす高さや液面の深さ、液体の粘度（Pa・s）が関係しているということが分かった。また、食紅を使用した実験から、落とされた液滴が液面を押し広げ、押し広げられた液体がクラウンを形成すると考えられた（画像2参照）。最もきれいなクラウンが出来た条件は、「牛乳」×「高さ 57 cm」×「深さ 3 mm」の時だった（画像3参照）。

クラウンができるには高さや深さ、粘度以外にも様々な条件が組み合わさってできているのではないかと考えられ、これらの条件がどのように関わっているのか探るために今年も研究を継続することにした。

## III. 研究方法

### 1 実験に使用したもの（画像4参照）

- ・スタンド（昨年DIYで制作したもの）
- ・スポイト
- ・水
- ・サラダ油
- ・洗剤水（水 100ml に対し洗剤 1ml 混ぜたもの…つけ置き洗いするときの濃度）
- ・ステンレスバット（13 cm×15 cm）
- ・フライパン（テフロン加工）
- ・BB弾
- ・スマートフォン（撮影用）

## 2 実験の方法（画像5参照）

- ・昨年製作したL型クランプで高さ調節ができる自作のスタンドを使用する。  
（昨年の研究結果と比較することが出来るように昨年のスタンドをそのまま使用した。）
- ・バットの中の深さ1mmの液面に、スタンドで高さ100cmに固定したスポイトから液滴を落とす。  
（昨年の研究で水のクラウンがきれいにできた高さ100cm・深さ1mmの条件を採用した。）
- ・液滴が落下した時の様子をスマートフォンでスローモーション撮影し、クラウンの出来具合を動画で確認する。
- ・この方法で液面と液滴の液体の組み合わせを変えながら実験を繰り返す。

## 3 研究①「水とサラダ油を組み合わせでクラウンはできるのか？」

### (1) 動機

昨年の研究でサラダ油のクラウンができなかった原因を探りたいと思い、クラウンができた水との組み合わせで異なる液体で実験することにした。

### (2) 研究方法

- ・水面に水滴/油滴を落として観察する。
- ・サラダ油面に水滴/油滴を落として観察する。（計4通りの実験を行う。）

### (3) 仮説

クラウンの形成にはバットに張っている液体の粘度が関係していると考えられるので、サラダ油に水滴を落としてもクラウンはできず、逆に水面に油滴（サラダ油の液滴）を落とすとクラウンができるのでないか。

## 4 研究②「洗剤水も組み合わせで実験を行い表面張力の影響を探る」

### (1) 動機

クラウンの形成に表面張力が関係しているのか確認するため、界面活性剤の働きを持つ洗剤を混ぜた洗剤水も用いて同様の実験を行うことにした。

### (2) 研究方法

- ・水面/サラダ油面に洗剤水滴を落として観察する。
- ・洗剤水面に水滴/油滴/洗剤水滴を落として観察する。（計5通りの実験を行う。）

### (3) 仮説

洗剤水の表面張力はサラダ油と同じくらいで、粘度は水と同じくらいであるため、洗剤水に水滴を落としたときはサラダ油に水滴を落としたときと同じような、洗剤水に油滴を落としたときは水面に油滴を落としたときと同じような結果になるのではないか。

## 5 研究③「液面や液滴を物体に置き換えて検証する」

### (1) 動機

実験①②より、サラダ油に水滴を落としたときに飛び散ったのは油の粘度が高くて散っただけなのか、ほかに何か関係しているのかを探るために、何も入っていないバットに液滴をそれぞれ落とすとどういう現象が見られるのか。さらに上から落とす液滴が何らかの影響を及ぼしているのかを探るために、バットの中の液体にBB弾を落とすとどうなるのか。この2つの実験を比較していく。

### (2) 研究方法

- ・何も入っていないバット/フライパンに水滴/洗剤水滴/油滴を高さ100cmから落として観察する。

- ・バットの中に水/洗剤水/サラダ油を深さ 1 mm 入れ、BB 弾を高さ 100 cm から落として観察する。

(3) 仮説

水をバットに落とすとバットにぶつかった衝撃で水しぶきはねるだろう。洗剤水とサラダ油も水と同じようにそれぞれ飛び散ると考えた。

BB 弾を落としても水滴を落としたときと同じようにクラウンができると思う。

6 発展研究④「二層の液面に液滴を落とすとどうなるのか？」

(1) 動機

クラウンを形成するのに適した条件や仕組みについてこれまでの研究で解明することができた。そこで、聞いたことのないオリジナルのクラウンを作ってみたいと考えた。

昼食にラーメンを食べた後のスープの上に油が浮かんでいるのを見て、ここに水滴を落としたら面白い現象が見られるのではないかと思い、液面を水とサラダ油の二層にして実験することにした。

(2) 研究方法

- ・バットに水を薄く張り、その上にサラダ油をスポイトでそっと浮かせて油の量を徐々に増やしながら実験を繰り返す。

(3) 仮説

受け止める側の液面が粘度も表面張力も異なる液体の二層になっているので、油に水滴を落としたときにできるクラウンと、水に水滴を落としたときにできるクラウンが時差で二つできるのではないか。

## IV. 結果

1 研究①「水とサラダ油を組み合わせでクラウンはできるのか？」

(1) 同じ液体での実験

※例えば、バットの水面にスポイトで水滴を落とす実験を「水面×水滴」と表記する。

- ・水面×水滴は、昨年の研究と同じようにきれいなクラウンができた（表 1 - A 参照）。
- ・サラダ油面×油滴は、昨年の研究と同じようにボウル状になった（表 1 - D 参照）。

(2) 異なる液体での実験

- ・水面×油滴は、仮説どおりクラウンができた。  
水×水滴のクラウンと同じようなクラウンだった（表 1 - B 参照）。
- ・サラダ油面×水滴は、仮説に反してクラウンができた。  
弾けたように、クラウンの高さがあり、クラウンの先端が鋭いとげのようだった（表 1 - C 参照）。

2 研究②「洗剤水も組み合わせで実験を行い表面張力の影響を探る」

(1) 水面/サラダ油面に洗剤水滴を落としたとき

- ・水×洗剤水滴は、きれいなクラウンができた水×水滴のクラウンよりも小さかった（表 2 - E 参照）。
- ・サラダ油×洗剤水滴は、洗剤水滴が跳ねているが、高さがあまりなかった（表 2 - F 参照）。

(2) 洗剤水面に水滴/油滴/洗剤水滴をそれぞれ落としたとき

- ・洗剤水×水滴は、水×水滴のクラウンよりも、高いクラウンができ水滴が飛び散った（表 2 - G 参照）。
- ・洗剤水×洗剤水滴は、きれいにクラウンはできたが、水×水滴のクラウンよりも小さかった（表 2 - H 参照）。
- ・洗剤水×油滴は、高さがあり、雫ととげが混ざってできているクラウンができた（表 2 - I 参照）。

3 研究③「液面や液滴を物体に置き換えて検証する」

(1) バットに水滴/油滴/洗剤水滴を落としたとき (表 3 参照)

- ・バット×水滴は、水しぶきは跳ねずに広がり、周囲にギザギザができた後に 1 つに小さくまとまった。
- ・バット×洗剤水滴は、一見丸く見えるが淵の部分を見ると小さなギザギザができていた。
- ・バット×油滴は、丸く落ちた後も何も変化がなかった。

(2) フライパンに水滴/油滴/洗剤水滴を落としたとき (表 3 参照)

- ・フライパン×水滴は、水しぶきは少し跳ね、その後完全に 1 つにまとまることはなかった。
- ・フライパン×洗剤水滴は、バットに落下させたときよりも跳ね、水しぶきが少しあった。
- ・フライパン×油滴は、周囲に小さなギザギザができていた。

(3) 水/サラダ油/洗剤水に B B 弾を落としたとき (表 4 参照)

- ・水×B B 弾は、水面の広がりが小さくクラウンはできなかった。
- ・洗剤水×B B 弾は、水滴は少しだけはねたがクラウンはできず高さもなかった。
- ・サラダ油×B B 弾は、落としてもほとんど動きがなかった。

4 発展研究④「二層の液面に液滴を落とすとどうなるのか？」

仮説に反して、水と油の二層のとき時差で二つのクラウンがみられることはなかった。時差ということではなかったが、普段のクラウンの内側に小さなクラウンがあり二重になっていた (画像 6・7 参照)。油の下にひかれている水が多すぎると二重のクラウンを見ることはできなかったが、水の量を減らすとみることでできた。

## V. 考察

1 研究①「水とサラダ油を組み合わせでクラウンはできるのか？」

○サラダ油面に油滴を落としたときはボウル状になるが、粘度が高いサラダ油面に水滴を落としたときにクラウンができたという結果に驚かされた。しかも、昨年の研究では見られなかった高さがある鋭いとげのあるクラウンができた。

○サラダ油面に水滴を落としたときにできたクラウンは衝撃が強すぎたのではないかを確認するため、試しに高さ 50 cm から水滴を落としてみた。クラウンの高さが少し低くなったが、弾けたように鋭いとげがあるクラウンができたことには変わりなかった。このことから、クラウンが弾けたようになるのは落下の衝撃以外の力が関係しているのではないかと考えた。

○表面張力などの働きで水とサラダ油は普通は混ざらない。文献では、クラウンの形成にも表面張力の影響があるとも言われている。そのため、鋭いとげのあるクラウンができたのは表面張力が関係していると考ええる。

○そこで、表面張力を小さくする働きを持つ洗剤を水に溶かした洗剤水での実験も重ねていこうと思う。

<表面張力とは？> (図 1 参照)

液体の分子どうしが引き合う力のこと。

例えば、水では水の分子同士でくっつきこうとする力が水の表面張力、サラダ油ではサラダ油の分子同士でくっつきこうとする力がサラダ油の表面張力だ。

水の表面張力は  $72\text{mN/m}$  でサラダ油の表面張力は  $30\text{mN/m}$  となっており、数値が大きく離れていて二つの引き合う力が弱いため混ざらずに分離する。

2 研究②「洗剤水も組み合わせで実験を行い表面張力の影響を探る」

- 洗剤水に水滴を落としたときにサラダ油面に水滴を落としたときと同じような結果が出たことから、クラウンの形成に表面張力が関係していると考えられる。
- 洗剤水・洗剤水滴を用いるとききれいなクラウンができたことから、水よりも表面張力が小さく、粘度が大きいほうがクラウンができやすいと考えられる。サラダ油は粘度が大きすぎるため、作ることは難しい。
- 水滴を落としたときと比べて、洗剤水滴を落としたときはクラウンが全体的に小さくなっていた。これは、スポイトから落とす一滴のサイズが水滴と洗剤水滴で違うからではないか（画像8参照）。洗剤水は表面張力が水よりも低くなっており、水滴のように大きくなる前に落ちてしまうからだと考えられる。
- 水面に水滴を落としたとき、洗剤水に水滴を落としたとき、サラダ油面に水滴を落としたときを比べるとクラウンの厚さが違うことに気づいた（表5参照）。これは、バットの中の液面の粘度と表面張力の違いも関係してくると考えられる。
  - ・ 昨年の研究では、落とした液滴が液面を押し広げ、押し広げられた液体が雫(ダマ)になると考えたが、上の写真のようにクラウンの厚さが違ったことから、落ちてきた液滴の広がる影響と液面の広がる影響の二つの影響が関係していると考えられる。
  - ・ 液滴と液面の動きを絵にして考えてみた（表6参照）。  
（黒線：バット 緑線：落とした液滴 赤線：バットの中の液面）
  - ・ 水面に水滴を落としたときと洗剤水面に水滴を落としたときを比較すると、表面張力が低い洗剤水のほうが液面の広がる影響が小さくなりクラウンが薄くなったと考えられる。
  - ・ サラダ油に水滴を落としたときは、油の粘度が高いことと、表面張力の差が大きく水とサラダ油が混ざらないため、水滴を落としたときのサラダ油の広がる影響がほとんどなく、落ちてきた水滴の広がりだけでクラウンが形成されていると考えられる。
- このことが本当なのか検証するために、バットに深さ1mmのサラダ油をひき高さ100cmから食紅で赤く染めた水滴を落したらクラウンが食紅で赤く染まっており、飛び散った水滴も赤く染まっていたことから、薄く跳ねていたのは水滴だったということが分かった（画像9参照）。
- 水とサラダ油の表面張力の差が大きく、サラダ油の粘度が高いため、サラダ油面と水滴が反発し合って水滴が飛び散ったのではないかと考えられる。

### 3 研究③「液面や液滴を物体に置き換えて検証する」

- バットに水滴を落とした際に広がった周囲がギザギザしていたのは、表面張力の働きによるものだと考えられる。これをクラウンの基「クラウンの赤ちゃん」になっていると呼ぶことにする。表面張力が低いサラダ油をバットに落としても丸く広がりギザギザはできなかった。
- ネットで調べたところ、ステンレス製のバットは親水性（水に対する親和性が高い）を持っていることがわかったので、疎水性（水に対する親和性が低く水と混ざりにくい）を持っているテフロン加工のフライパンでも同様の実験を行った。バットに水滴を落としたときと比べると、フライパンはテフロン加工で水や油をはじくため水滴/油滴が少し跳ねて飛び散った。油に水滴を落としたときのように大きく跳ねなかったことから、やはり表面張力などの力が影響しているのではないかと考えられる。
- BB弾を落としたときは水滴を落としたときと比べて液面の広がりが小さかったことから、クラウンの形成には液滴が液面を押し広げる影響が必要ということが確認できた。

### 4 発展研究④「二層の液面に液滴を落とすとどうなるのか？」

- 時差でクラウンが二つできるという仮説を立てていたが、動画で確認しても時差でできている様子はなかった。そこで、油を浮かせている量やさらに下に弾いている水の量を変えながら実験を重ねているうちに毎回ではなかったが、二重のクラウンができていることを発見した。

○はじめはただ水しぶきが飛んでいるだけやバットに反射しているだけだと考えていたが、その水滴が円を描いていて内側に集まりながら落ちていることからクラウンが二重になっていると確認できた。この二重にできているクラウンのことを「ダブルクラウン」と呼ぼうと思う。

・液体と二層の液面の動きを絵にして考えてみた（画像 10 参照）。

（黒線：バット 緑線：落とした水滴 赤線：水の液面 水色線：油の液面）

・落ちてきた水滴がサラダ油と水の二層を押し広げ水の第一クラウンができる（画像 10-カ参照）。

・押し広げられた液面が内側に向かって戻ろうとするときに、サラダ油よりも粘度が低い水が先に戻ろうとする。その時に水面が波のように盛り上がる（画像 10-キ参照）。

・盛り上がった水面に表面張力の働きで雫ができて、第一クラウンの内側に第二クラウンができる（画像 10-ク参照）。

・内側に向かって戻ろうとしているため、第二クラウンは内側に集まりながら雫が落ちていく（画像 10-ケ参照）。

## VI. 結論（課題）

○クラウンの形成に影響するもの

・高さ：液滴が液面に落下した時の衝撃

・深さ：液滴が落下した時の液面の押し広げられやすさ

・粘度：液滴が落下した時の液面の押し広げられやすさ、液体の動く速さ

・表面張力：クラウンの赤ちゃんが出来るかどうか、液滴と液面の繋がりやすさ

○昨年の研究結果の分析

・水のクラウン：クラウンはできるがとてもきれいなクラウンにはならないのは、粘度が低く（ $1\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）、表面張力が高すぎる（ $72\text{ mN/m}$ ）から。

・牛乳のクラウン：理想のクラウンに近いクラウンが作れたのは、粘度（ $2\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）と表面張力（ $56\text{ mN/m}$ ）が大きすぎず、小さすぎない程よい値だから。

・サラダ油のクラウン：クラウンができずボール状になったのは、粘度が高い（ $65\text{ mPa}\cdot\text{s}$ ）のに加え、表面張力が低く（ $56\text{ mN/m}$ ）クラウンの赤ちゃんが出来ないから。

○クラウンの仕組み

・落ちてきた液滴とバットの中の液面の二層から形成されている。

・このとき、落ちてきた液滴がクラウンの内壁、バットの中の液面がクラウンの外壁となっている。

○ダブルクラウンとの出会い

・水とサラダ油の二層に水滴を落としたことで「ダブルクラウン」と出会うことができた。

・同じような研究やダブルクラウンの画像をインターネットで探してみたが、調べた範囲では見つけれなかったことからダブルクラウンと出会ったのは私が初めてだと思う。

・今年の研究では、立てた仮説の多くが外れたが、想像の上をいく結果を得ることができた。

○課題

昨年と今年の研究からきれいなクラウンを作る条件や、液滴と液面の組み合わせによってできるクラウンの特徴などが分かった。今後はこの結果を活かして、逆にクラウンができない条件を探してみたい。そうすることで、水や油が跳ねて台所や服などが汚れることを防ぐことができるだろう。

## VII. 参考文献

- ・『各種液体粘度対応表 佐竹マルチミクス株式会社』  
[https://www.satake.co.jp/small\\_mixers/sentei/img/nendo.pdf](https://www.satake.co.jp/small_mixers/sentei/img/nendo.pdf)
- ・『疎水性 | 株式会社ケミコート』  
[https://www.chemicoat.co.jp/knowledge/detail\\_114.html](https://www.chemicoat.co.jp/knowledge/detail_114.html)
- ・『親水性ってどういう意味? | 株式会社ミヤケン』  
<https://www.m-kensou.com/column/toryou/親和性ってどういう意味?/>
- ・『株式会社 KTR KTR ニュース 第 17 回「水と油はなぜ混ざらないのか」』  
<https://www.kaji-tr.com/news/news17.htm>
- ・『ミルククラウンに関する研究』郡司博史他、ながれ第 22 巻、2003 年 12 月発行
- ・『令和 4 年度自由研究 「クラウンはどんなつちよると?」』五ヶ瀬中等教育学校 森みなみ

## VIII. 謝辞

クラウンの研究は、一人では行えない作業がたくさんあり、多くの方に協力していただきました。指導教諭の楯岡秀人先生、研究を支えてくれた家族、普段からクラウンについて考えさせてくれた同級生に感謝申し上げます。

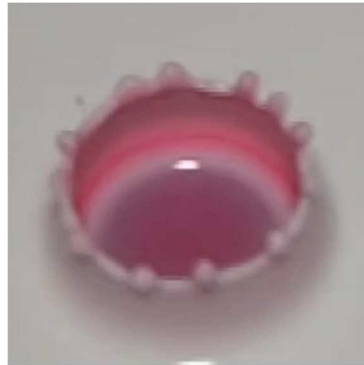
また、宮崎大学でのプレゼン発表を通して、人の前で発表をするにあたっての姿勢や質疑応答への対応の仕方などを学ぶことができ、一歩成長することが出来ました。

本当にありがとうございました。

IX. 図表、画像



画像 1. サラダ油の実験結果



画像 2. 食紅を使用したミルククラウン



画像 3. 理想のミルククラウン



画像 4. 実験に使用したもの



画像 5. 実験の様子

	水滴	油滴
水	<p>A</p>	<p>B</p>
サラダ油	<p>C</p>	<p>D</p>

表 1. 研究①水とサラダ油を組み合わせたクラウン



	水滴 (65)	洗剤水滴 (35)	油滴 (30)
水 (65)		<b>E</b> 	
洗剤水 (35)	<b>G</b> 	<b>H</b> 	<b>I</b> 
サラダ油 (30)		<b>F</b> 	

表 2. 研究②洗剤水を組み合わせたクラウン







	水滴	洗剤水	サラダ油
バット (親水性)			
フライパン (疎水性)			

表 3. 研究③何も入っていない金属に液滴を落とした結果




	水面	洗剤水面	サラダ油面
BB弾			

表4. バットの液面にBB弾を落とした結果



画像6. ダブルクラウンの連続写真



画像7. クラウンが二重に出来ている様子

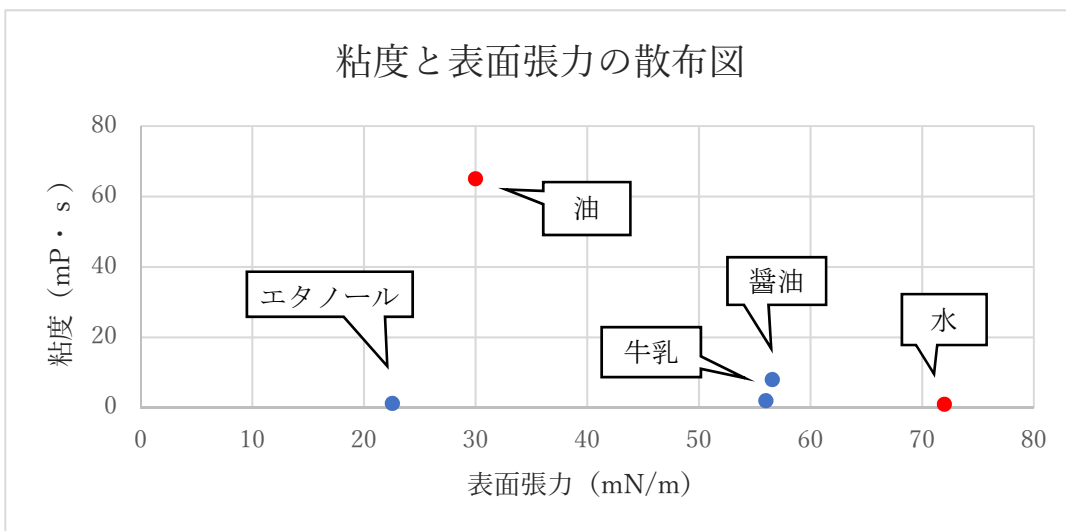
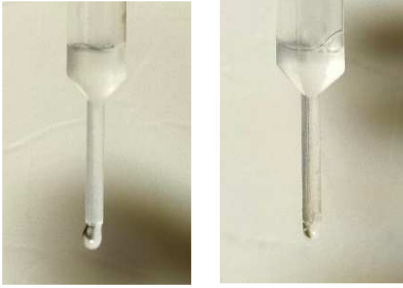


図1. 粘度と表面張力の散布図



画像8. スポイトから落下する直前の水滴の大きさ (左: 水滴、右: 洗剤水滴)

水面×水滴	洗剤水面×水滴	サラダ油面×水滴
		

表5. 水滴を落として厚さが異なるクラウン

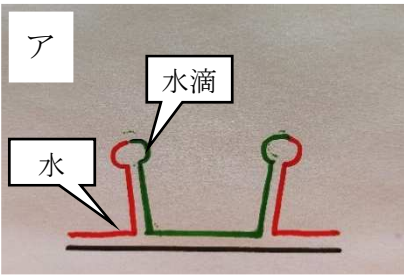
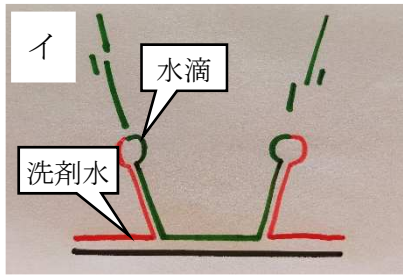
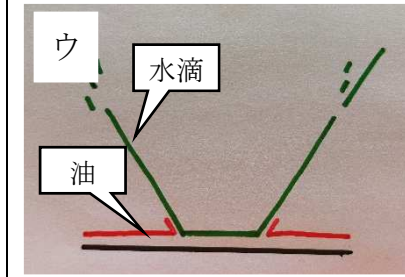
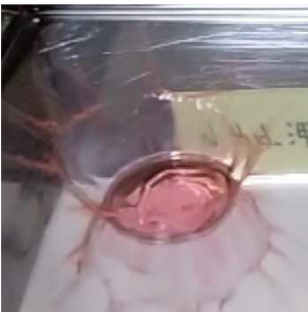
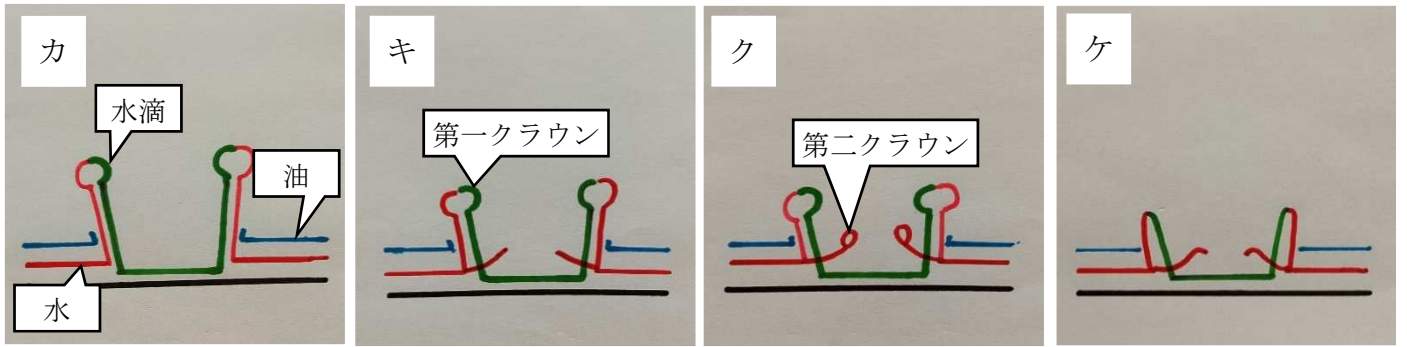
水面×水滴	洗剤水面×水滴	サラダ油面×水滴
<p>ア</p> 	<p>イ</p> 	<p>ウ</p> 

表6. 表5の厚さが異なる原因を図解した

(黒線: バット 緑線: 落とした液滴 赤線: バットの中の液面)



画像9. 食紅を使用したクラウン



画像 10. 画像 6 の連続写真を図解した

(黒線：バット 緑線：落とした水滴 赤線：水の液面 水色線：油の液面)