

液だれ軽減への道

飯島 実 三木 絵里奈 岩部 紗子 村上 莉央
IIJIMA Minori MIKI Erina IWABU Suzuko MURAKAMI Rio

1. 要旨概要

調味料を使うとき、液体が垂れて食事中に小さなストレスを感じる人は多い。この研究は、その小さなストレスを軽減し、快適な日常生活を送るために始めたものである。予備実験を行ったところ、口が薄すぎると液だれしないことが分かったため、まず、液だれする口の厚さを調べた。その結果、油は、どのような厚さの口を使用しても液だれした。一方、水は、1.5 mmより薄い口では、液だれしにくくなった。また、液だれを起こす口では、液体が口の下側を沿うように流れ落ちる現象（これを本研究では巻き込みと定義する）が度々見られた。油と水の結果の違いには表面張力が関係すると考え、それぞれの表面張力を実験によって調べたところ、水の値の方が大きかった。また、水を用いたときに口の厚さによって液だれのしやすさが変わる原因を探るため、注ぐ水の量を一定にし、口の厚さと設置角度のみを入力変数とした追加の実験を行った。その結果、厚い口では角度を大きく設定しても液だれが起こるが、薄い口では小さい角度で液だれが見られなくなった。ここで、液体が落ちようとする力を R 、液体が壁面を伝う力を T として、次のように考察した。 T は壁面の厚さが厚くなると大きくなり、液体が口に沿って流れようとするため、薄い口よりも液だれしやすくなる。また、角度が大きくなるにつれて R が大きくなり、液体が斜面と平行な向きに流れ落ちやすくなるため、角度が小さい時よりも液だれしにくくなる。以上より、油のように表面張力が小さい液体では、口の厚さの変更による液だれ防止は不可能と考えられる。そのため、油の液だれを防ぐには、口の形状を変えるなどのほかの対策が必要になると思われる。一方、水のように表面張力が大きい液体では、薄い口を使用し、注ぐ際にボトルの下向きの角度を大きくすることによる液だれ対策が見込めると結論づけた。

2. 研究目的

醤油やソース、ドレッシング等の調味料を使うとき、注がれた液体がボトルの口周りや側面・下面まで垂れて、手や机に付着してしまうことは多い。その都度液体を拭き取ることをストレスに感じ、苛立ちながら食事することも少なくない。そこで、食事の際に調味料が垂れるストレスを減らし、快適に生活するため、本研究で液だれする条件を調べ、液だれ軽減につなげ、快適な食事空間を目指すことにした。

はじめに、この研究で使用する言葉を説明する。注ぎ口の切れ込み部分を「穴」、液体が出てくる部分を「口」と設定した。(図1)また、液だれとは液体が注ぎ口の外側に付着している状態(図2左側)を指し、液体が口の外側に付着していない状態(図2右側)を「なし」とする。

3. 研究方法 1

3.1 予備実験 1

口と穴の形状や組み合わせが液だれに影響しているのではないかと考え、以下の手順で予備実験1を行った。(図3)

- ①ペットボトルキャップで穴(長方形、ひし形)を、厚さ0.75 mmのポリプロピレンシートで口を作成する。
- ②①で作成した穴と口をペットボトルに装着する。
- ③デジタルフォースゲージを用いて、角度と速度を一定にして、水をペットボトルから注いで実験する。

3.2 実験 1

予備実験1の結果より口が薄すぎて液だれが起きなかったのではないかと考え、液だれする口の厚さを以下の手順で調べることにした。また、液体の種類の違いと液だれの有無との関係を調べるため、油においても同様の実験を行った。(図4)

- ①プラバンをトースターで熱し、柔らかいうちにペットボトルの飲み口の形に合うように変形させ、口を作る。(27個)ノギスを用いて、各口の厚さを計測した。
- ②口をペットボトルに取り付け、パテで液が漏れ出るのを防ぐ。
- ③ペットボトルを傾け、水を注ぐ。1つの口につき7回水を注ぎ、液だれの度合いを観察する。なお、油を用いた実験では、試行回数を5回に変更した。

また、口の厚さとは、図5の線で挟んだ部分のことを指す。

3.3 予備実験2

実験1の様子や、既製品の注ぎ口で液体が出てくる様子を観察したところ、液だれが起こるとき、多くの場合で液体の巻き込みも起こっていることが判明した。(図6)巻き込みの様子やボトル内に液体が戻っていく様子より、表面張力が液だれに関係しているのではないかと予想した。そこでリング法を応用し、以下のようにして水と油、そして参考にまでに、醤油とメイプルの表面張力を調べた。

- ①ばねに重りを取り付け、おもりの下端をビーカーに入れた液体につける。
- ②ビーカーを徐々に下ろし、おもりが液面から離れる瞬間(図7)の持ち上げられた液体の高さを測定する。
- ③おもりの底面の半径、各液体の密度、②で得られた各値を式1に代入して表面張力を計算する。

$\gamma = \frac{f}{2\pi R} - \frac{R\rho gh}{2}$	<p>γ : 表面張力 [N/m] R : おもりの底面の半径 [m] ρ : 液体の密度 [g/cm³] g : 重力加速度 [m/s²] h : おもりに持ち上げられた液体の高さ [m]</p>
--	--

式1

3.4 実験2

予備実験2の結果と考察より、口の厚さが厚いほど、斜面の角度が大きくなるまで液だれし、薄いほど小さな角度で液だれしなくなるのではないかと考え、水に焦点を当てて実験2を行った。この仮説を立てた経緯は以下の通りである。斜面の角度が変わることによって、液体にかかる斜面に平行な重力の分力の大きさが変化する。(図8)角度が大きくなるほどこの力が大きくなるため、液体が口からそのまま流れ落ちやすく液だれしにくいと考えた。また、角度が小さいほどこの力は小さくなり、液体が口を伝って流れようとする、すなわち、液だれしやすくなると予想した。実験1の結果から、より液だれしやすであろう厚い口では、比較的液だれしにくいと思われる大きな角度の斜面でも液だれすると考えた。この仮説をもとに、以下の方法で実験を行った。(図9)

- ①角度が調節可能な斜面に木の板を設置し、そこにパテで口を取り付ける。
 - ②その上からスポイトではかり取った一定量の水を5秒かけて注ぐ。注いでいる最中や、注ぎ終わった後の口の様子を観察する。
 - ③角度を10度から10度ずつ大きくしながら①②を行う。液だれしなくなった角度から斜面の角度を5度小さくし、②を行う。以上を各口で行い、5度単位での結果を求める。
- また、この実験では、形状が比較的整っており、厚さの分布がある程度均等である7個の口を使用した。

4. 結果

4.1 予備実験1

すべての穴で液だれが起こらなかったため、実験を中断した。実験中の様子を観察したところ、水を流すために傾けていたペットボトルを水の流れないもとの状態に戻す際、水が切れるようにして流出が終了していることをすべての試行で確認した。

4.2 実験1

液体を注いだ後の口の状態を以下の通りに区別した。(図10)

- …液体が口の外側に付着している状態
- △…口の淵部分に目視可能な程度の水滴がついている状態
- ×…水滴が付着していない状態

厚さによって口の個数が異なるため、厚さごとに○△×を示した回数合計をそれぞれ記録した。その値を次の式に代入し、同じ厚さの口における○△×それぞれの状態の平均値を算出した。

【同じ厚さの口におけるそれぞれの状態の合計回数÷(試行回数×同じ厚さの口の個数)】

ここでの試行回数とは一つの口について液体を注いだ回数のことを指し、水の実験では7回、油を用いた実験では5回である。求めた平均値を試行回数で再び割ることによって算出した、同じ厚さの口におけるそれぞれの状態の全試行に対する割合を百分率で表し、●の大きさで表した。(図11, 12)

図11より、1.5mm付近を境に、○と×の割合が逆転しており、口が厚くなるほど液だれが起こりやすくなっていることが分かる。したがって、水の場合、厚さが1.5mm以上の口で液だれが起こりやすくなると考えた。

図 12 より、油は、口の厚さに関わらず、すべての試行で液だれが起こったことが分かる。油が液だれしない口の厚さを調べるため、さらに薄い口をいくつか用いて実験したところ、用意できた中でもっとも薄い 0.15 mm の口を使用しても液だれした。したがって、油の場合、口の厚さは液だれの有無に関係しないと考えられる。

また、実験中の様子を観察したところ、液だれが見られた多くの口で巻き込みが見られた。

4.3 予備実験 2

おもりの底面の半径…0.725 cm

水…91.4mN/m

(密度 : 1.00 g/cm³ おもりに持ち上げられた液体の高さ : 0.55×10⁻²m)

油…45.6mN/m

(密度 : 0.915 g/cm³ おもりに持ち上げられた液体の高さ : 0.50×10⁻²m)

醤油…76.2mN/m

(密度 : 1.15 g/cm³ おもりに持ち上げられた液体の高さ : 0.30×10⁻²m)

メイプル…91.0mN/m

(密度 : 1.20 g/cm³ おもりに持ち上げられた液体の高さ : 0.70×10⁻²m)

4.4 実験 2

液体を注いだ後の口の状態を以下の通りに区別し、縦軸を角度、横軸を口の厚さとして表にまとめた。(表 1)

○…水滴が口の下面に付着している状態

△…水滴が口の側面に付着している状態

×…付着していない状態

表 1 より、厚い口では角度が大きくなっても液だれが起こるが、薄い口では小さい角度で液だれしなくなったということが読み取れる。また、実験 1 と同様に、液だれした多くの口で巻き込みが見られた。

5. 考察

5.1 予備実験 1

結果を踏まえ、厚さが 0.75 mm より薄い口も用いて何度か実験を行ったが、穴の形状を変更しながら進めたどの試行でも液だれは見られなかった。また、ペットボトルをもとの状態に戻す際に確認した、水が切れるようにして流出が終了した現象は、口が薄いことが原因で起こったものと思われる。そこで、予備実験 1 においてすべての試行で液だれしなかったのは、実験で使用した口が薄すぎたためではないかと考えた。

5.2 実験 1

水は、口の厚さが 1.5 mm 以上になると液だれが起こると考えた。一方、油の場合、口の厚さは液だれの有無に関係しないと考えた。また、油の実験で試行回数を変更したのは、水の実験で、飛び値が少なかったこと、計算が困難であったこと等の理由から、7 回の試行から 5 回の試行に変更しても問題ないと考えたためである。

5.3 予備実験 2

表面張力とは、液体が表面積を小さくしようとする力、すなわち、液体が球形になろうとする力を指す。また、水滴が固体と触れているとき、内側に引っ張られていた外側の水分子は固体側と引き付け合い、水滴は球状から形を崩す。(図 13)このことから、水では、表面張力が液体と固体の引き付けあう力より大きいため、形があまり崩れず、球形を維持しようとする。油では、表面張力が液体と固体の引き付けあう力より小さくなり、形が崩れやすい。(図 14)油が液だれを起こしやすいのは、油の表面張力が小さいからであると考察できる。表面張力による引っ張りの力よりも壁面に引きつけられる力の方が大きいため、油は口を伝い流れ落ちやすくなり、口の厚さに関係なく常に液だれが起こると考えた。一方で、水を用いると、液だれの有無は口の厚さによって違いがあった。

5.4 実験 2

液体が落ちようとする力を R、液体が壁面を伝う力を T とする。(図 15)T は壁面の厚さが厚くなると大きくなる。そして、液体が口に沿って流れようとするため、厚い口のほうが薄い口よりも液だれしやすくなる。また、角度が大きくなるにつれて R が大きくなり、液体が斜面に沿って流れ落ちやすくなるため、角度が大きいが角度が小さい時よりも液だれしにくくなる。

6. 結論(課題)

本研究では、当初液だれの防止に穴と口の形状を変更することが効果的なのではないかと予想し、実験を行った。しかし、口の厚さの変化の方が液だれに影響していると考えを改め、実験の方向性を変更した。研究により、液体の表面張力も影響している可能性があるかと判明し、表面張力の大きさによって場合分けして結論を出した。表面張力が大きい液体の液だれ防止には、注ぎ口の厚さを薄くし、注ぐ角度を大きくすることを提案する。その際、注ぐ角度が小さい状態を可能な限り短くするため、液体を注ぎ終わった後にボトルを起こす時間を短くすることが有効である。表面張力が小さい液体では、口の厚さを薄くするだけでは液だれを防ぐことができないため、口の形状を変える等の他の対策が必要であると考えた。

液だれという現象は入力変数が非常に多く、液だれに関係あると考えられるが調べることでできなかった変数も多々あった。よって今後、口・穴の形状、またその組み合わせや口の材質と液体の種類との組み合わせ、液体の流れる速さなど液だれに影響すると予想される事柄について検証することが望ましい。

7. 参考文献

- ・ 横山真男(明星大, 東洋大計算力学センター)/瀬田陽平/矢川元基
「容器口の形状に着目した液だれ防止方法の提案」

<http://www.cello-maker.com/research/pdf/ekidare-boushi.pdf> 2022/06/22

- ・ 表面張力と液ダレの関係 | 技術コラム (吐出の羅針学)

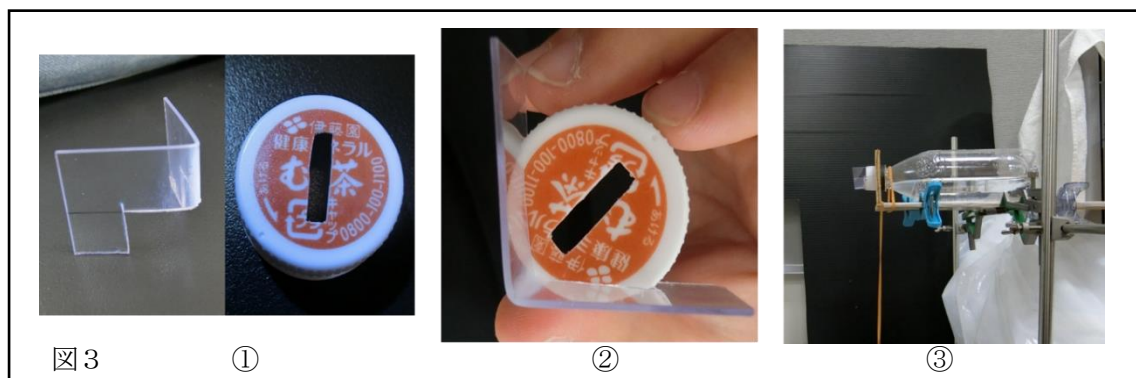
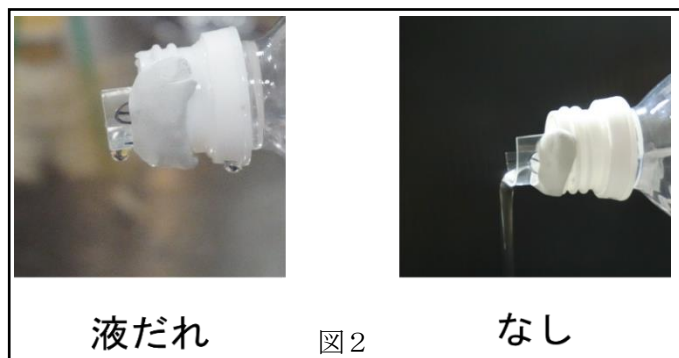
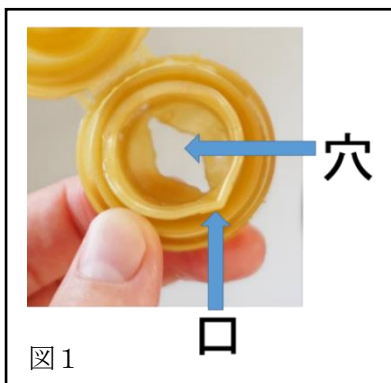
<https://www.mohno-dispenser.jp/compass/compass05.html> 2022/04/23

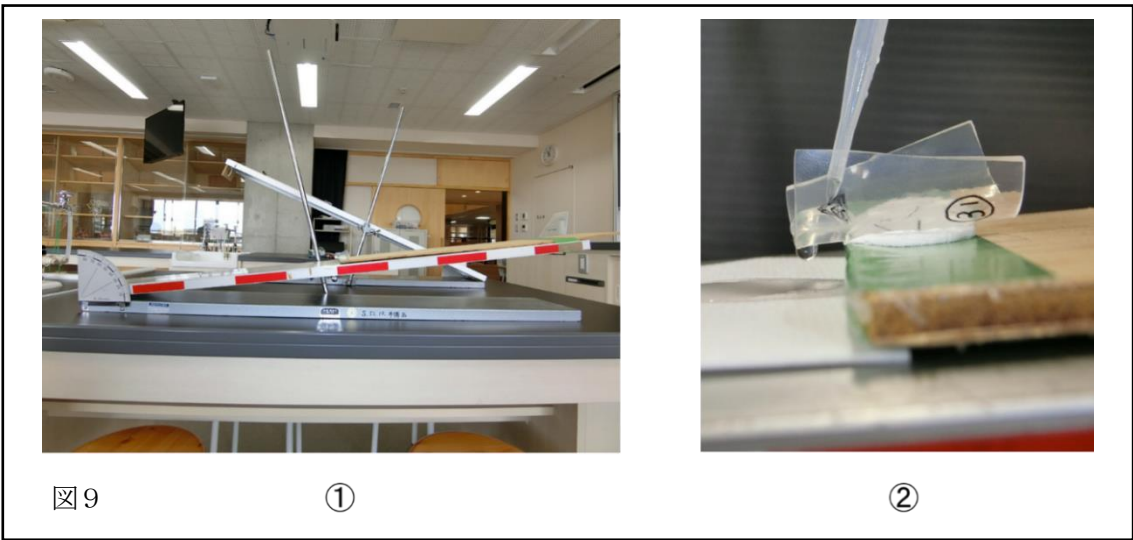
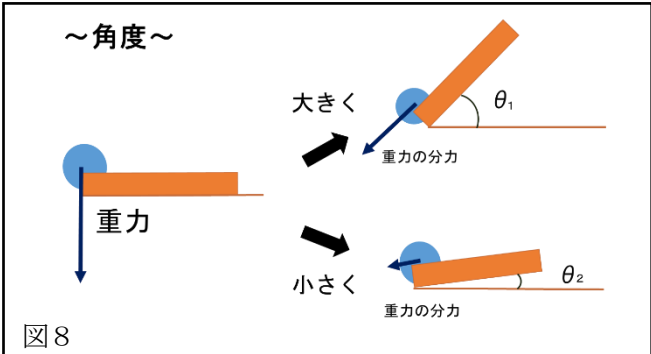
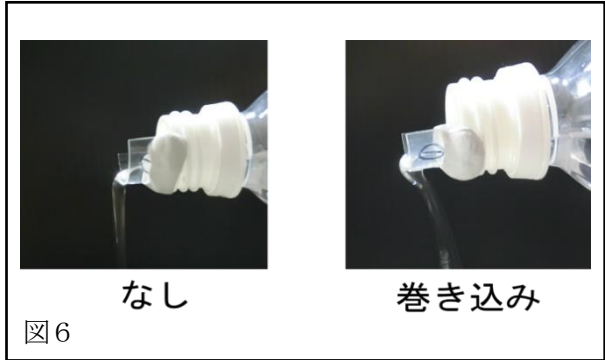
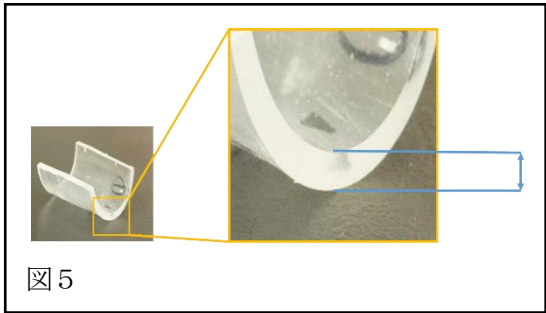
- ・ 注ぎ口から飲み物がポタポタ垂れる「ティーポット効果」の解明に成功/
ナゾロジー <https://nazology.net/archives/102982> 2023/04/10
- ・ 東京理科大学理学部第一物理学教室 物理学実験集(他学科) 2.液体の表面張力
2023/04/25

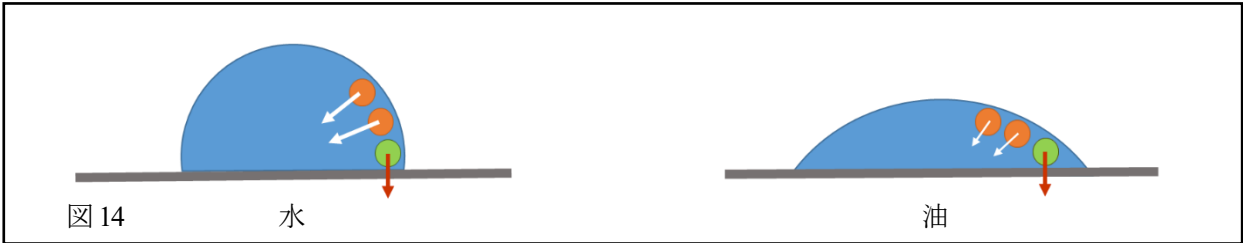
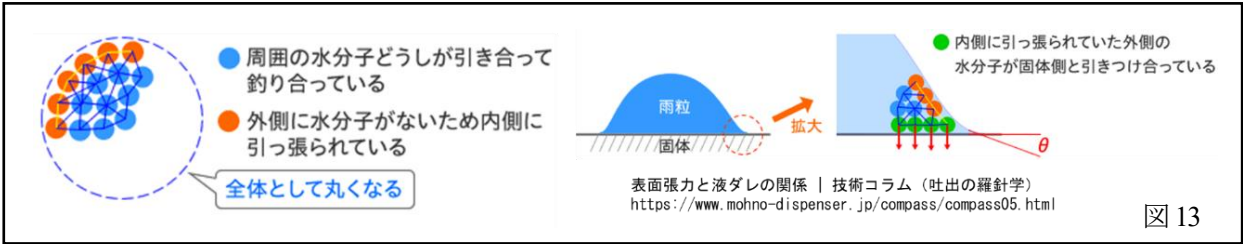
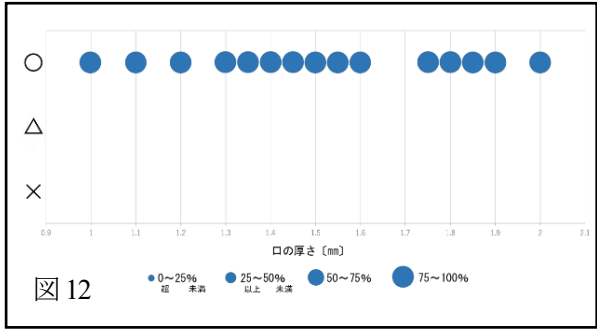
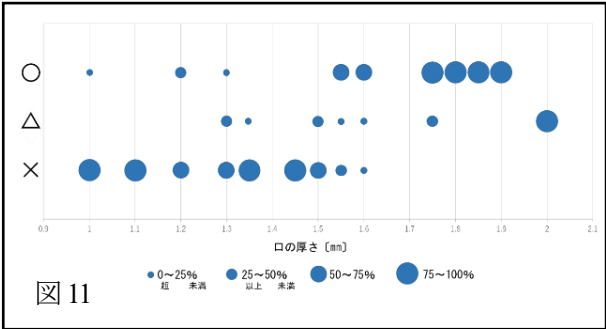
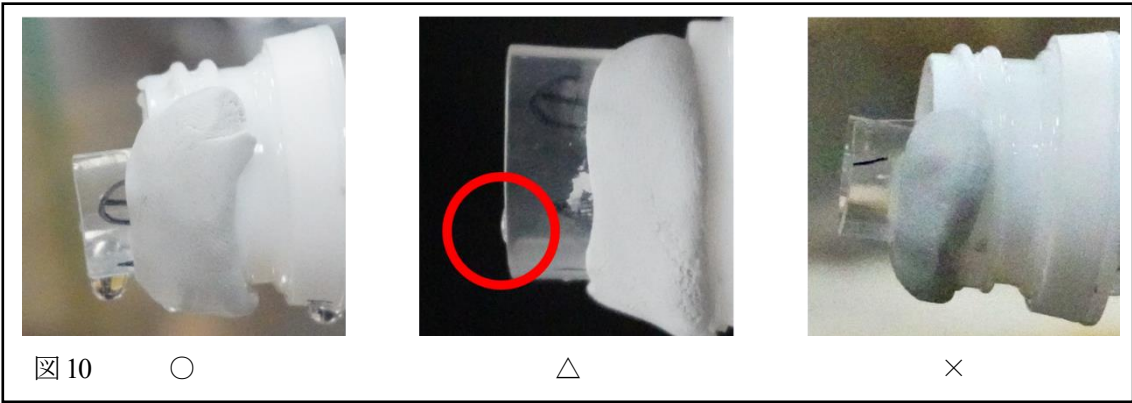
8. 謝辞

担当の川西先生、ご意見頂いた明星大学の横山教授、その他多くのアドバイスをしてくださった先生方に深く御礼申し上げます。

9. 図表・画像







度 \ mm	1.0	1.1	1.2	1.3	1.55	1.75	1.9
10°	△	○	○	○	○	○	○
15°	○	×	○	○	○	○	○
20°	○	×	○	○	○	○	○
25°	×		×	○	○	○	○
30°	×		×	×	△	△	△
35°					△	×	○
40°				×	×		△
45°							△

表1 厚い口…角度が大きくなるまで液だれする
薄い口…小さい角度で液だれしなくなる

