

# 容器口の形状に着目した液だれ防止方法の提案

## Prevention of adhesion of liquid on an edge of cup

- 横山真男, 明星大・東洋大 CCMR, 東京都日野市程久保 2-1-1, masao.yokoyama@meisei-u.ac.jp  
 瀬田陽平, 明星大, 東京都日野市程久保 2-1-1  
 矢川元基, 東洋大 CCMR, 埼玉県川越市鯨井 2100  
 Masao Yokoyama, Meisei University and Toyo University CCMR, 2-1-1 Hodokubo, Hino, Tokyo  
 Youhei Seta, Meisei University  
 Genki Yagawa, Toyo University CCMR

Experimental observation of liquid dripping was performed and the prevention method of the liquid adhesion on wall of cup was proposed in this paper. This phenomenon occurs when water or source etc. is poured from edge of a cup or a pot, and the liquid adheres to the wall of container and makes table or clothes dirty, which is an annoying problem for us. The experimental observation was carried out by taking movies with high speed camera and the flow patterns dripping from the various edge shapes of cup which was made by 3D printer were observed. We found that the channel cut at the outside edge of cup reduced the water adhesion on cup's wall.

### 1. はじめに

容器から流れ出した流体は慣性力と重力によって運動するが、容器口付近では界面張力等の影響により容器の縁で減速され壁面にそって流れることがある。その時に口付近に液滴が残ったり容器壁面につたって液体がこぼれたりする現象を我々は液だれと呼んでいる。例えば、コップに入ったジュースを別容器に移し替えたり、お玉でカレーをすくってご飯にかけたりするときに、容器の壁や底にくっついてしまいテーブルや服を汚した経験は、誰しも一度はあることだろう。

日常的によくみられる煩わしい液だれ問題に対して、これまで食器等の製品の注ぎ口は様々な形状が考えられてきた。ヤカンやドレッシングの注ぎ口は滑らかなカーブに続き急峻な先端をもつことが多い。また、縁日の屋台でみる焼きそば屋やタコ焼き屋でソースやマヨネーズをかけるときに使う、ディスペンサーのような先端の尖った吐出口も有効である。我々は、こういった容器口から流れ出る流体の様相について実験と数値シミュレーションによる分析を行ってきた<sup>(1)(2)</sup>。

しかし、各メーカーがしのぎを削って作る注ぎ口の形状は、その流体と容器材料の物性に依存するため、中身の流体や容器の材質が変われば、その都度形状を見直さなければならずコストが高い。また、やがて何度も使っているうちに付着物が溜まり汚れによりその効果は薄くなる。

この液だれ問題は食品関係以外にも化学、バイオ、医療、ほか溶剤からセメントなど多くの産業の場で問題が発生しているものと想像される。

本研究では、こういった日常から種々の産業の現場にみられる液だれ現象について、これをシンプルな加工手法によって容器口の形状や流体の緒条件に寄らない液だれの軽減方法を提案する。

### 2. 容器口の加工方法

固体と液体がなす接触角のモデルとして、固体と液体とその周りの外気体の 3 つの境界点において次のヤング(Young)の式が周知である。

$$f_s = f_l \cos \theta + f_d \quad (1)$$

ここで  $f_s$  は固体の、 $f_l$  は液体の、 $f_d$  は固体と液体のそれぞれ境界点に作用する力で、 $\theta$  は  $f_d$  と  $f_l$  のなす角度でこれを接触角とよぶ。この式は理想的な平面上でのつり合いを示し、現実的には物体表

面には凹凸が存在する。ウェンゼル(Wenzel)はこの接触角を、

$$\cos \theta = S \cos \theta_w \quad (2)$$

とし、見かけの接触角  $\theta_w$  に対してヤングの式が成り立つ接触角は液体が接する理想的な平面の面積を 1 としたとき、実際の凹凸を含めた表面積  $S$  を用いた補正式を提案した。これは、凹凸のある面は完全な平面よりも濡れ性が強調されることを意味しており、つまり  $\theta < 90^\circ$  の濡れやすい材質ならば  $\theta_w$  は小さくなり粗い表面にするとより濡れやすくなり、逆に  $\theta > 90^\circ$  の濡れにくい材質では  $\theta_w$  は大きくなり粗い表面にするとより濡れにくくなる<sup>3)</sup>。

さらに、カッシー(Cassie)の式によると、固体表面は一般に不均一であるので液体と接する複合面と考え見かけの接触角  $\theta_c$  は、

$$\cos \theta_c = A_1 \cos \theta_1 + A_2 \cos \theta_2 \quad (3)$$

で与えられるとした。 $\theta_1$ 、 $\theta_2$  は物質 1、2 の滑らかな面に対するヤングの接触角で、 $A_1$ 、 $A_2$  は、実際の表面を物質 1、2 が占める割合で (したがって  $A_1 + A_2 = 1$ )、 $\theta_c$  をカッシーの接触角とよぶ。蓮の葉や水鳥の羽の超撥水性はこの効果によって説明される。例えば、片方の物質 2 に空気の割合が多い、すなわち細かな突起も

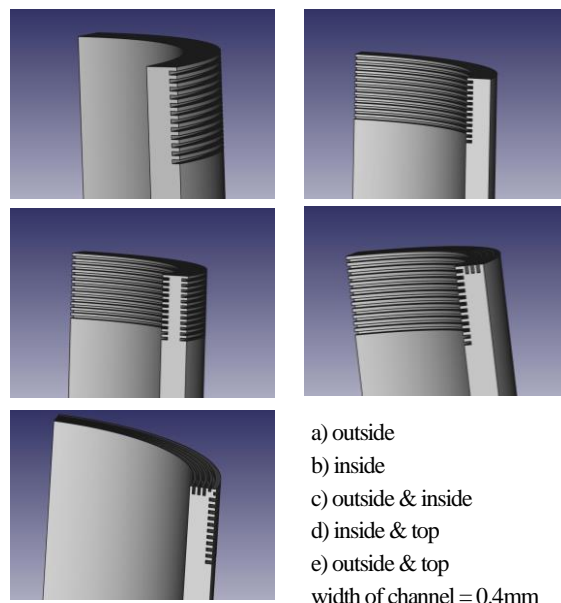


Fig. 1 Cannel patterns on the edge of cup

しくは多くの細かな溝があるような物体の場合  $A_2$  は 1 に近づき、 $\theta_c$  が大きくなり濡れにくくなることを示す<sup>4)</sup>。

これらの理論より壁の表面を粗くすることで接触角を大きくして濡れにくくなり液だれが防げる期待が持てるので、これを容器口の周辺に細かな溝を刻むことで液だれが防止できるかの実験を行った。

容器は 4mm の厚さの植物性由来のプラスチック素材の PLA 樹脂(ポリ乳酸)を使用し、CAD ソフトでデザインした容器を 3D プリンタで出力して作成した。3D プリンタはディビジョン・エンジニアリング社の DS.1000 を使用した。

溝は 3D プリンタの精度いっぱいの幅 0.4mm、深さ 0.4mm 間隔で、液だれの見られる容器の縁から約 1cm の間に矩形の溝を掘った。溝を刻んだ方向は円周方向にしている。

溝の位置は Fig.1 に示すように外側(outside)または内側(inside)と、上(top)と外側もしくは内側の組み合わせ、内外の組み合わせの計 5 種類とした。

また、縁の形状は Fig.1 の角縁(rectangular)以外にも、Fig.2 に示すような半円縁(circle)、45 度の傾斜縁(triangle)を用意し、同様に溝を刻み計 15 種類の縁を用意した。図の上側が容器の内側であり、下側が容器の外側を示している。

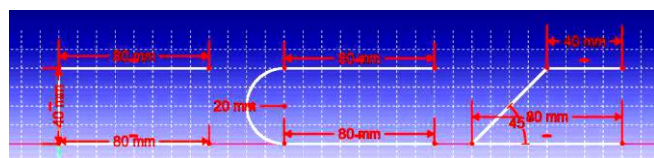


Fig.2 Three edge types of cup (Rectangular, Circle, 45 degree triangle)

### 3. 実験方法

Fig.3 に本研究における縁部に液だれを検証するための実験構成を示す。スタンドに容器を固定し一定量(3ml/sec)で水を注ぎ、ある程度注いだ後に注入をとめた。その注ぎ始めから注ぎ終わりまで、液滴の落下および付着の様子をハイスピードカメラ(Optronics 社 CR600)で 1/1000 秒で撮影した。なお、スタンドに固定した角度(setting angle)はそれぞれ、 $0^\circ$ 、 $10^\circ$ 、 $30^\circ$  に設定した。10 回ずつ試行を繰り返し、撮影した動画を流し始めから流し終わりまでそれぞれの容器縁の形状、溝の位置、設置角度でそれぞれについて液だれの発生の有無を観測した。

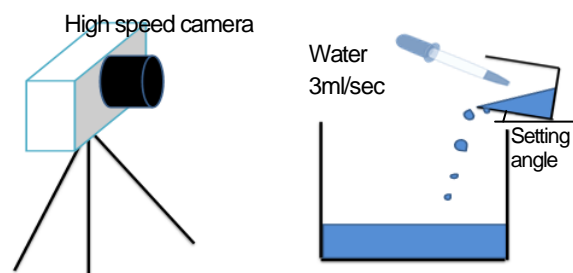


Fig.3. Experimental setup

### 4. 実験結果と考察

Fig.4 から Fig.8 に溝なしの実験結果を、Fig.9 から Fig.11 に溝ありの実験結果を示す。

#### 4.1 溝無しの場合

液だれの判定基準として、流している最中に容器側面を液体が伝った場合以外にも、水の注入を止めて液滴が容器の縁や側面に

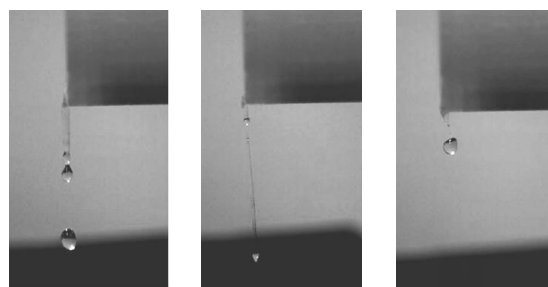


Fig.4 Adhesion of water drop on rectangular edge without channel, setting angle = 0 degree.

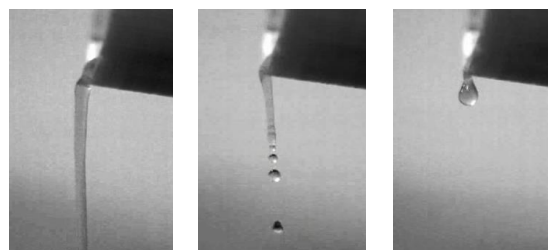


Fig.5 Adhesion of water drop on rectangular edge without channel, setting angle = 10 degree.



Fig.6 Adhesion of water drop on rectangular edge without channel, setting angle = 30 degree.

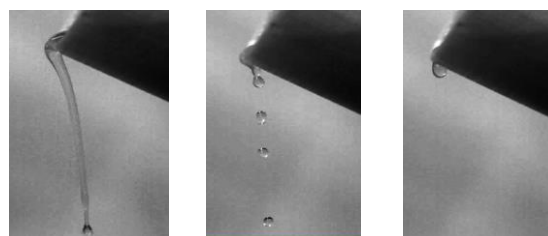


Fig.7 Adhesion of water drop on circle edge without channel, setting angle = 30 degree.

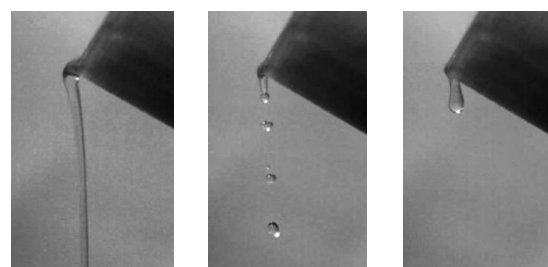


Fig.8 Adhesion of water drop on 45 degree triangle edge without channel, setting angle = 30 degree.

付着した場合も液だれとして判定した。

Fig.4 から Fig.6 に見られるように角縁容器で溝なしの場合はいずれの角度においても液だれの発生がみられた。最初、液体は容器の縁から重力方向に落下し、流量が減り緩やかな流れになるにつれて縁を回り込むようにして流れ、水滴となったのちに容器の壁面に付着して残った。設置角度が大きい場合、Fig.5 および Fig.6 のように、重力方向に壁面が近くなるために液滴が界面張力により壁面側に引きこまれやすくなり、流れが曲りやすかったり縁に水が乗りやすく、液だれが発生しやすい。

Fig.7 の丸縁でも角縁同様に全体的にどの角度においても液だれの発生がみられた。丸縁では角縁に比べてこぼれる液体の壁面の回り込みが大きいため、容器の側面に沿って水が流れ落ちる様子が確認できた。実験ではどの設置角度においても 100% の確率で液だれが発生した。

Fig.8 の傾斜縁は、先端形状が尖っており壁面が作用する界面張力の影響が小さく流体が縁に回り込む様子はあまり見られず液だれが発生しにくい。しかし、設置角度を大きくした 30° では液だれが発生する時があった。このことは形状を鋭利にしても液体を注いだ後に容器を立てるときに液だれが発生してしまうことを指している。

#### 4.2 溝有りの容器の場合

溝有りの場合では、縁の形状と溝の位置により結果に差が出た。

Fig.9 に示すように、外側に溝を付けた場合は試行回数 10 回に対して液だれの発生は 0 度、10 度、30 度すべてにおいて見られなかった。溝なしの角縁と比較すると、大きな違いとして流れる液体が回り込む様子が見られなかった。溝なしの容器では流れが緩やかになるにつれて水が容器側に引き寄せられて曲がる様子が見られたが、容器外壁面に溝を加えた容器ではそれが見られず一本の直線になって流れる様子が見られた(Fig.10)。どの角度においても直線的な流れのため側面に液体が付着することがなく液だれが発生しなかったと思われる。

また、水の注入後に最後に縁にのこった液滴が落ちようとする

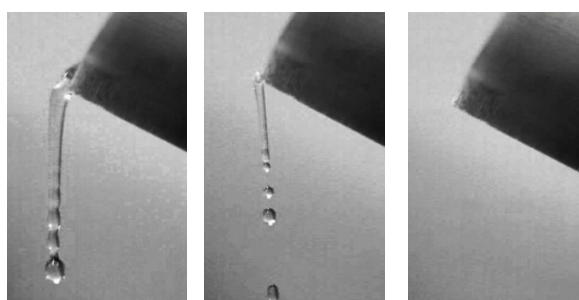


Fig. 9 No adhesion of water on rectangular edge with outside channel, setting angle = 30 degree.

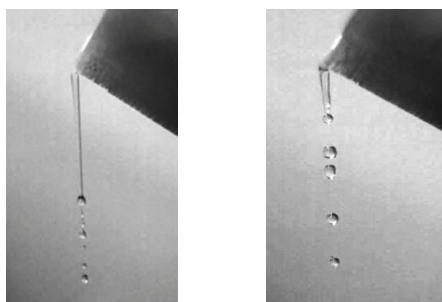


Fig. 10 Water droplet falling straightly without adhesion, on circle edge and 45 degree triangle edge with outside channel, setting angle = 30 degree.

とき、その水滴が容器の内部に引っ張り上げられる様子も多く確認することができた。

内側に溝を加えた容器では、溝を加えていない角縁と変わらず全体的に液だれの発生が見られた。流れる水の様子も同様に、流量が少なくなるが緩やかになるにつれて壁面に引き寄せられるように流れた。Fig.11 はこの液だれがひどい場合の例であるが水滴の付着どころではなく流れこぼれている。縁において内側に溝がある場合(たとえば汚れや異物が壁面に付着している場合も含め)、液だれを防ぐ効果の期待はなくむしろ悪影響と思われる。

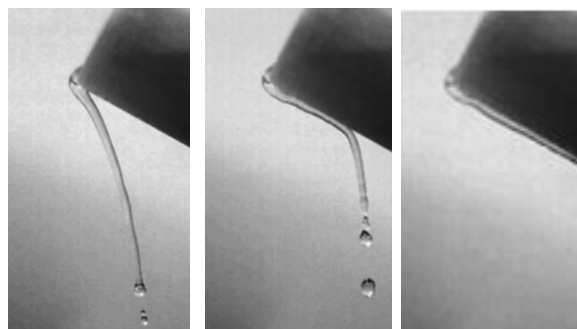


Fig. 11 Adhesion on circle edge with inside channel, setting angle = 30 degree.

内側と外側の両面に溝のある容器では、外側にのみ溝のある容器と似た液体の流れが見られた。内面の溝による液だれの発生を防ぐ効果は期待できないが、外側の溝の効果とほぼ同じであることがわかる。丸縁においては傾斜を 30° にした場合は液だれが発生する割合が 20% ほどであった。

内側と縁の上側に溝を付けた場合では、液だれが多く発生した。上側の溝の効果のためか、内側のみに比べ少し液だれが発生する割合は小さい結果となった。

外側と縁の上側に溝を付けた場合では、液だれ防止の効果が上がるような期待ももてるが、実験結果によると外側の溝のみとの差は、現状では観察できていない。

以上、本実験による液だれ発生の有無をまとめた結果を Table1 にしめす。試行回数 10 回に対して液だれが発生した場合の割合を記し、表の記号は液だれの発生回数を表す(◎:100% ○:40%~90% △:10%~30% ×:0%)。

Table 1 Ratio of adhesion on cup's wall

	Rectangular		Circle			45 degree			
	Setting angle (degree)								
	0	10	30	0	10	30	0	10	30
No Channel	○ 60%	○ 50%	◎ 100%	◎ 100%	◎ 100%	◎ 100%	×	×	△ 30%
Out side	×	×	×	×	×	×	×	×	×
Inside	○ 40%	○ 70%	○ 80%	○ 70%	○ 70%	○ 90%	×	×	○ 40%
Out & In side	×	×	×	×	×	△ 20%	×	×	×
Top & In side	△ 30%	○ 60%	○ 80%	○ 50%	○ 90%	○ 90%	×	×	△ 30%
Top & Outside	×	×	×	×	×	×	×	×	×

## 5. おわりに

容器の口からこぼれる液だれの発生を抑える方法として、容器口の外側の縁に細かな溝を刻むことで、丸や角といった鋭利でない縁でも液だれが大きく改善できることを示した。

外面に溝を加えた容器ではどの角度、容器口の形状においても液だれが発生する様子は確認できなかった。流量が減っても界面張力によりに壁面に吸い寄せられるような流れが見られず、最後に残った液滴は容器内に吸い込まれるように上がる様子が観察できた。また、先端が尖った傾斜縁は流れる液体が縁に回り込みにくいため、溝の有無に関係なく側面に液体が付着しにくい溝をつけるとさらに液だれ防止の効果があがることが期待できる。しかし本実験のように溝をつけることで、容器口の形状が鋭利でない鈍い先端の形状であっても、化学的なコーティングによる加工をしなくても、液だれの発生を軽減することができると言える。

今後はさらに液体の粘性の違いや容器の材質の違いによる検証が必要である。また、容器の縁に刻む溝の向き、幅や深さ、形状の違いによっても効果が変わると思われるのでこれらについても検証を行う。

## 謝辞

本研究は学術振興会科研費（H27-29 年課題番号 15204764）の補助を受けて実施している。

## 参考文献

- (1) 後藤, 瀬田, 横山, 矢川, "液だれの観察", 機械学会計算力学部門講演会 2014 講演論文集, (2014) CD-ROM.
- (2) 瀬田, 横山, 矢川, "液だれの数値計算", 機械学会計算力学部門講演会 2015, (2015) 講演論文集, CD-ROM.
- (3) 加藤, 藤田, 佐々木, "固液界面のぬれおよび接触角の測定法に関する研究", 日本機械学会論文集 B 編, 54.504 (1988) pp.1985-1993.
- (4) 江前敏晴, 講座「紙の科学」紙の物性・構造の基礎と印刷適性」, ホームページ, part 3, 4-1.