

左上一箇所でホチキス留め

受付番号: SE0277
エントリーID: 671

筑波大学

朝永振一郎記念

第19回「科学の芽」賞 応募用紙

受付番号 : SE0277

応募部門 : 小学生部門

応募区分 : 個人応募

題名 : 紙パックdeドリンクころりん

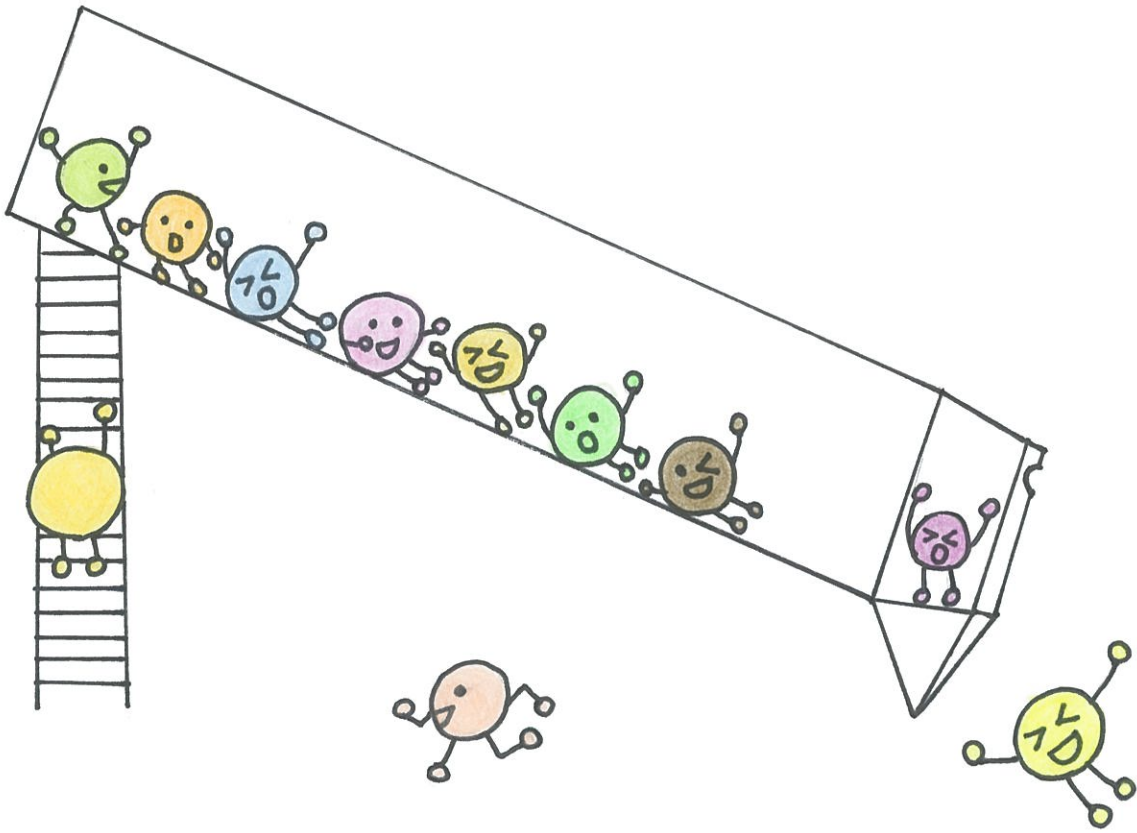
学校名 : 東京都 国立筑波大学附属小学校

学年 : 6年生

代表者名 : 藤本 怜央菜

※ 個人情報保護のため、入力された項目から抜粋して出力しています。

紙パック
de
ドリンクころりん



筑波大学附属小学校
6年 藤本怜央菜

1. きっかけ

昨年、ペットボトル飲料の”飲み残し”が気になり、どのようなペットボトルなら飲み残しを減らせるのかを調べた。その結果、ペットボトルのデザインが飲み残しに関係していることが分かり、デザインを工夫することで飲み残しを減らせることが分かった。

飲み残しに注目してから、私はペットボトル飲料だけでなく、紙パック飲料の飲み残しも減らすことに取り組みたかった。紙パックを衛生的にリサイクルするためには、必ず洗って乾かす必要がある。そのひと手間のせいか、紙パックはペットボトルよりも、回収率が低い(BOX 参照)。飲み残しがなくなれば、洗う手間が省けて、紙パックの回収率を上げることにつながるのではないだろうか。

《BOX：飲料容器の回収率の現状》

使用済み紙パック回収率	32.7%(2021 年度)：全国牛乳容器環境協議会
使用済みアルミ付紙パック回収率	3.4%(2022 年度)：LL 紙パックリサイクル推進研究会
ペットボトル回収率	94.4%(2022 年度)：PET ボトルリサイクル推進協議会

2. 目的

紙パック 1 本あたりの飲み残しの量を測り、ペットボトルとの違いを考える。また、紙パックのどのような要因が飲み残しの量と関係しているかを解明する。

3. 仮説

ペットボトル飲料は商品ごとにデザインが異なっているのに対し、紙パック飲料はシンプルなデザインが多い。つまり、紙パック飲料はペットボトルのように商品ごとに異なるのではなく、いわゆる乳製品には飲み口が開く牛乳パック型、少量の果実ジュースにはストローがさせる四角柱の小型ジュース型というように、飲料の中身や容量によって形が決まる傾向にある。飲み残しは、中に入る飲料と関係しているのだろうか。

4. 実験 1

【目的】飲料容器 1 本あたりの飲み残しの量を測る（紙パック、ペットボトル）

飲み残しとは：飲料容器を逆さにして、これ以上出てこない状態でボトルの中に残っている液体を指す。
容器を振ったり、逆さの状態で置き飲料が落ちるのを待ったりしない。
(2023 年にペットボトルの飲み残しを計測したときと同じルール)

【方法】

- ① 飲料容器を空にし、乾燥させる
- ② 空の飲料容器の重さを計測する
- ③ 50 g の飲料を入れ、容器全体に飲料を行きわたらせる
(2023 年のペットボトル研究ではふたをして振ったが、紙パックは完全に乾燥させるために上部を切ったため、容器を振ることができない。そこで、内側の壁面に液体を沿わせるように行きわたらせた。)
- ④ 一度逆さにし、中の飲料を出す
- ⑤ 飲料容器の重さを計測する
- ⑥ 飲み残しの量 = ⑤ - ② で計算する
- ⑦ ③から⑥を 5 回繰り返す

【予想】

- ① 飲料容器の容量が大きいほど飲み残しが多くなる。
- ② ペットボトルでは溝などの凸凹が大きく影響していたことをふまえると、紙パックでも角があるデザインは溝と同じような働きをして、飲み残しが多くなる。

③ アルミ付紙パックは、飲料が流れやすくなり、飲み残しが少なくなる。

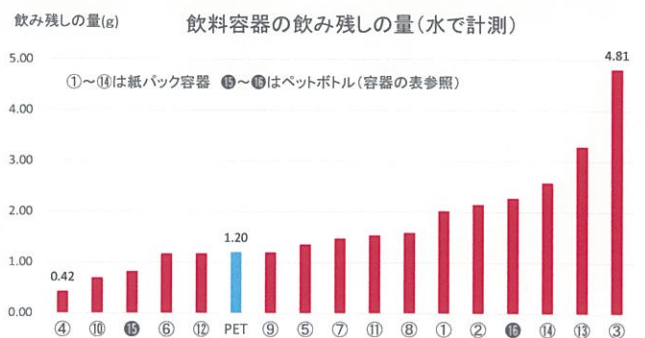
【飲料容器の種類】

今回、飲み残しを計測した飲料容器は、紙パック 14 種類、ペットボトル 2 種類。紙パックはデザインによる違いが少なく、容量による違いも研究するため 200mL~1000mL のものを調べた。

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
表記①	Tetra Rex®	Tetra Top®	Tetra Gemina® Aseptic	SIG MiniBloc	Tetra Brik® Aseptic	Tetra Top®	Tetra Top®	Tetra Prisma® Aseptic
表記②	Oisix牛乳	ZAVASミルク	豆乳	oikos	ソイラテ	ZAVAS 飲むヨーグルト	よつ葉 飲むヨーグルト	野菜生活
紙パックメーカー	Tetra Pak®	Tetra Pak®	Tetra Pak®	SIG	Tetra Pak®	Tetra Pak®	Tetra Pak®	Tetra Pak®
種類	紙パック	キャップあり紙パック	キャップありアルミ付紙パック	アルミ付紙パック	アルミ付紙パック	キャップあり紙パック	キャップあり紙パック	キャップありアルミ付紙パック
容量(mL)	1000	880	500	240	200	250	250	330
商品名	Oisix 北海道宗谷産牛乳	明治 SAVAS ミルクプロテイン脂肪0 ヨーグルト風味	kikkoman 調整豆乳	oikos 高級収タンパク質 Vanilla	marusan Vegan Protein	明治 SAVAS 飲むヨーグルト グレープフルーツ風味	よつ葉 北海道飲むヨーグルト	野菜生活100 ビタミンスムージー
形状(横)								
形状(底)								
番号	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	●	●
表記①	NS-FUJI	NS-SLIM	TOHEI-PAK	NP-PAK	Tetra Prisma® Aseptic	Tetra Gemina® Aseptic	ペットボトル	ペットボトル
表記②	果汁100%	雷印 飲むヨーグルト	ほうじ茶	ピルクル	オーツミルク	無糖珈琲	いろはす	伊右衛門
紙パックメーカー	日本製紙グループ	日本製紙グループ	北越パッケージ㈱	日本製紙グループ	Tetra Pak®	Tetra Pak®		
種類	アルミ付紙パック	紙パック	紙パック	紙パック	キャップありアルミ付紙パック	キャップありアルミ付紙パック	ペットボトル	ペットボトル
容量(mL)	200	190g	1000	455	1000	1000	580	600
商品名	果汁100% オレンジとみかん	雷印メグミルク 1日分の鉄分のヨーグルト	香るほうじ茶	ピルクル400	alpro オーツミルク	いつもの珈琲 無糖	いろはす ラベルレスデザイン	伊右衛門緑茶 ラベルレスデザイン
形状(横)								
形状(底)								

【結果】

水で飲み残しを計測した結果は右のグラフの通りになった。2023年のペットボトルの飲み残しの平均値1.2gを超える紙パックが半数以上あった。1.2gよりも少なかったのは、200mLなどの容量の小さな紙パックだったことから、紙パックについては容量が飲み残しに関係している。この時点ではアルミ付紙パックと紙パックに飲み残しに違いがあるか、角のある紙パ



クの飲み残しが多いのかは分からなかった。

【考察】

2023年の研究では、ペットボトルは容量ではなく、デザイン(横溝の本数やロゴや絵柄の多さ)が多くなるほど、飲み残しが増えていた。しかし、紙パックはデザインではなく、容量が飲み残しに関係している。これは、紙パックを洗うときに感じる飲み残しの量とも合っている。紙パックには、清涼飲料水だけでなく、牛乳や豆乳、ジュースなど多様な飲料が入って売られている。飲料によって飲み残しは変化するのだろうか。

5. 実験2

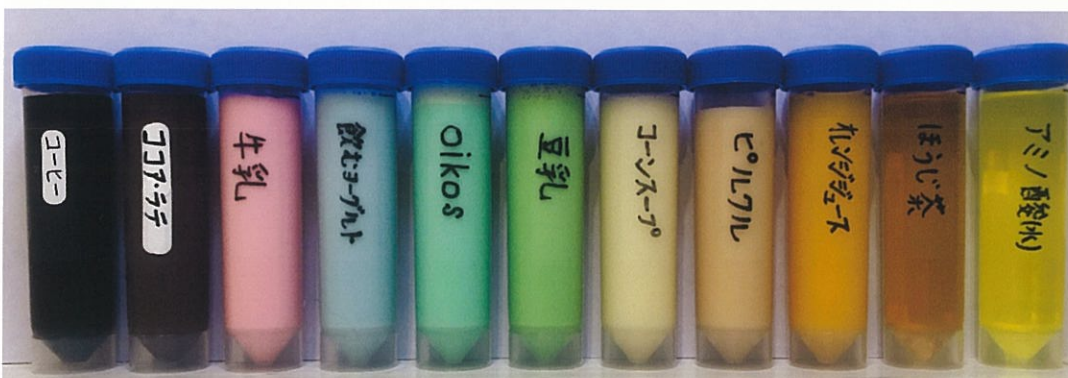
【目的】 飲料の違いによる飲み残しの変化を調べる

【方法】

- ① 種類別名称が異なる 11 種類の飲料を準備する(冷蔵庫で冷やした状態)
- ② **実験1**と同様に、すべての飲料容器で飲み残しを5回計測する
- ③ 飲み残しがある部分を観察する

《実験に使用した飲料》

表記	種類別名称	販売者 製造メーカー	商品名	飲料の重さ 割合(水=1)	100mLあたり栄養成分								主な原材料名
					エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)	食塩相当量 (g)	カルシウム (mg)	無脂乳固形分 (%)	乳脂肪分 (%)	
【ほうじ茶】 【ほ茶】	ほうじ茶 (清涼飲料水)	ローソン㈱	香るほうじ茶	0.978	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	—	—	ほうじ茶 エキスパウダー
【珈琲】	コーヒー	セブン&i PREMIUM	いつもの珈琲 無糖	0.996	0.00	0.00	0.00	0.60	0.06	0	—	—	コーヒー
【水】	水	コカ・コーラ	いろ・は・す	1.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	1.1	—	—	水(鉱水)
【牛乳】	牛乳	Oisix	爽涼な大草原で 育てた北海道宗谷 厳選牛乳	1.013	69.00	3.40	4.05	4.75	0.1	119	8.5	3.7	生乳100%
【豆乳】	調整豆乳	キッコーマン	調整豆乳	1.020	53.00	3.50	3.30	2.30	0.21	55	—	—	大豆・砂糖 米油・天日塩
【コーン】	スープ	Natural LAWSON	タンパク質が摂れる コーンスープ	1.021	34.84	3.09	0.80	3.79	0.52	0	—	—	乳製品 砂糖・小麦粉 スイートコーン パウダー 植物性たんぱく
【oikos】	乳飲料	ダノンジャパン㈱	oikos プロテインドリンク 高吸収タンパク質 VANILLA	1.026	52.08	7.50	0.00	5.50	0.11	240	13.2	0.2	乳製品 乳たんぱく 甘味料
【オレンジ】 【OJ】	果実ミックス ジュース (濃縮還元)	セブン&i PREMIUM	果汁100% オレンジとみかん	1.041	40.05	0.50	0.00	9.70	0	0	—	—	果実 (オレンジ・ うんしゅうみかん)
【ココア】	ココア飲料	TULLY'S COFFEE	ココアラテ	1.043	56.00	1.30	0.70	11.10	0.04	0	—	—	牛乳(生乳) 砂糖 ココアパウダー 脱脂粉乳
【ピルクル】	乳製品 乳酸菌飲料	日清ヨーク㈱	ピルクル400	1.057	64.62	1.23	0.00	15.08	0	0	—	—	砂糖 ぶどう糖果糖液糖 脱脂粉乳
【飲ヨ】	発酵乳	雪印メグミルク㈱	1日分の鉄分 のむヨーグルト	1.068	67.89	3.00	0.89	12.00	0.09	100	8.2	0.9	生乳 乳製品 糖類 ブルーベリー果汁



注1：水は透明で観察がしにくいので、ブラックライトで光るビタミンB群を含むアミノ酸を少量混ぜている。そのため黄色く着色されている。

注2：白い液体(牛乳、飲むヨーグルト、Oikos、豆乳)は観察しやすいよう着色料で色をつけている。

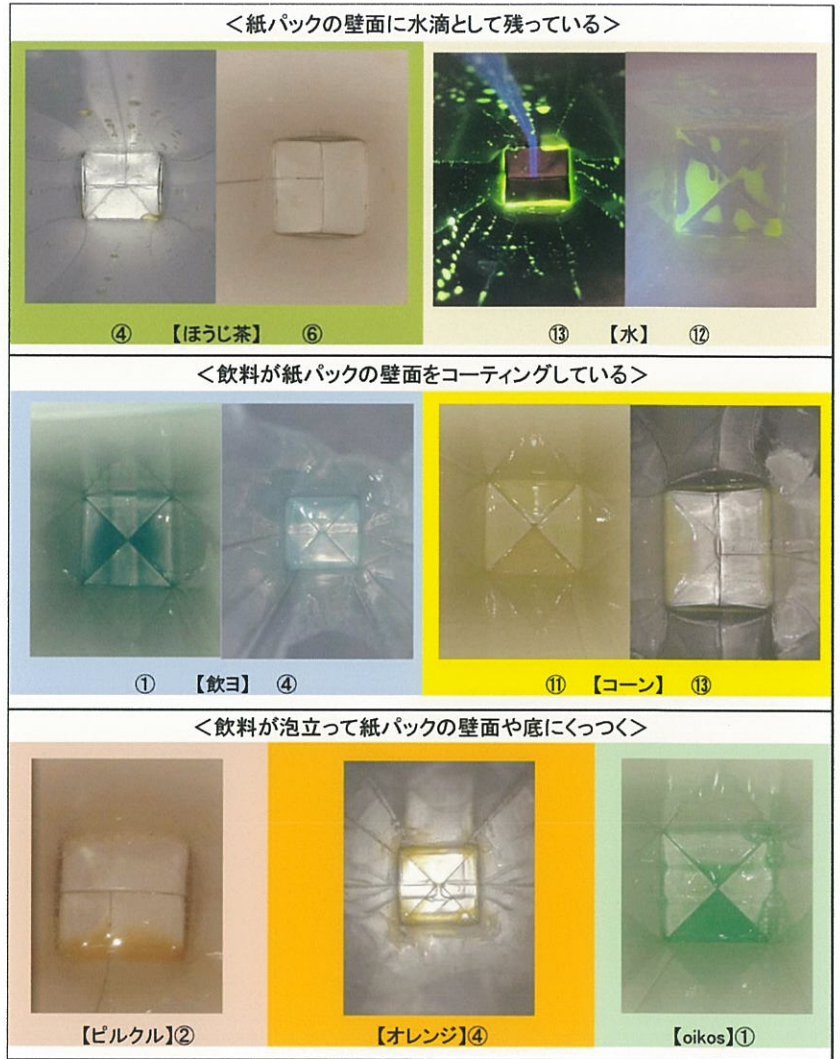
【予想】

- ① 【牛乳】や【飲むヨーグルト】は乳脂肪分を含んでいるため、飲み残しが多い。
- ② 【コーンスープ】や【ココア】など、口当たりがとろりとしている飲料は飲み残しが多い。

【観察結果】

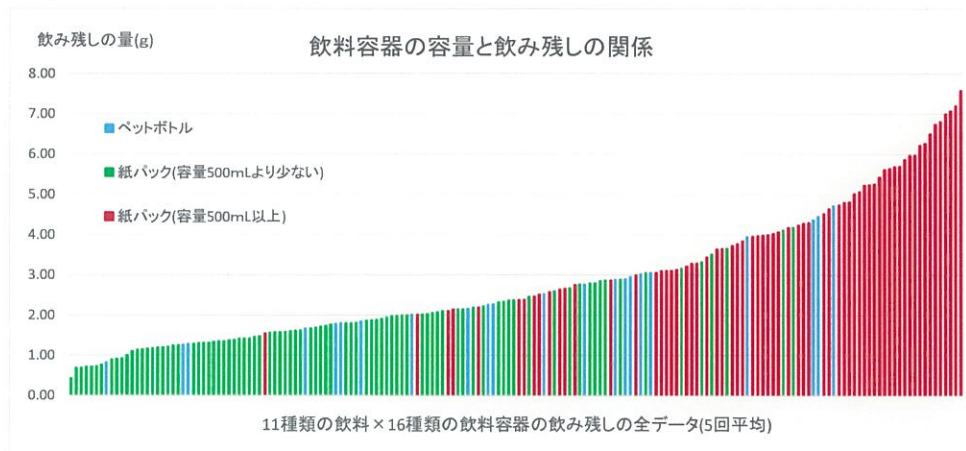
飲料の種類によって、飲み残しの残り方に違いが見られた。紙パック容器の内側壁面に水滴として飲料が残るものと、水滴にはならず、飲料が壁面全体をコーティングするものがあった(右写真・上段中段)。壁面に付く飲料だけでなく、紙パック容器の底に隙間があったり、段差が大きかったりすると、より飲み残しが多くなる傾向も見られた。予想通り【飲むヨーグルト】や【コーンスープ】は飲み残しが多くなったが、【牛乳】はその2つほど飲み残しは多くならなかった。

また、今回は計測する際に容器全体を振ることなく内側の壁面に飲料を沿わせるようにして行きわたらせたが、その過程で飲料が泡立ち、壁面や底につく様子が見られた(右写真・下段)。一度、泡立ってもすぐに泡が消えることはなく、飲料をせき止めていた。飲料によっては、「よく振ってお飲みください」と記載があるため、飲む前の振る動作が、より飲み残しを増やす要因になっているのかもしれない。



【考察と分析】

全ての計測データを並べてみると、紙パックの飲み残しは容器の容量が関係していることが分かる(下グラフ)。つまり、観察で見られたように、飲み残しが紙パックの内側の壁面に水滴やコーティングする形で残るなら、壁面の面積が広い(=容量が大きい)容器は飲み残しが増えてしまうことになる。これは、デザインがシンプルな紙パックだからこその特徴なのではないだろうか。



また、11種類の飲料で飲み残しを計測した結果を使い、容器別にランキングを作成した。

番号	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
表記①	Tetra Rex®	Tetra Top®	Tetra Gemina® Aseptic	SIG MiniBloc	Tetra Brik® Aseptic	Tetra Top®	Tetra Top®	Tetra Prisma® Aseptic	
表記②	Oisix牛乳	ZAVASミルク	豆乳	oikos	ソイラテ	ZAVAS 飲むヨーグルト	よつ葉 飲むヨーグルト	野菜生活	
種類	紙パック	キャップあり紙パック	キャップありアルミ付紙パック	アルミ付紙パック	アルミ付紙パック	キャップあり紙パック	キャップあり紙パック	キャップありアルミ付紙パック	
容量(mL)	1000	860	500	240	200	250	250	330	
飲み残しランキング ↑少 ↓多	1	【水】	【水】	【ココア】	【水】	【牛乳】	【ほうじ茶】	【珈琲】	【水】
	2	【ほうじ茶】	【ほうじ茶】	【珈琲】	【ほうじ茶】	【水】	【水】	【ほうじ茶】	【牛乳】
	3	【ピルクル】	【珈琲】	【ほうじ茶】	【珈琲】	【ほうじ茶】	【オレンジ】	【水】	【珈琲】
	4	【珈琲】	【牛乳】	【oikos】	【牛乳】	【珈琲】	【ピルクル】	【オレンジ】	【ピルクル】
	5	【牛乳】	【オレンジ】	【ピルクル】	【オレンジ】	【オレンジ】	【珈琲】	【ピルクル】	【豆乳】
	6	【オレンジ】	【ピルクル】	【豆乳】	【ピルクル】	【ピルクル】	【牛乳】	【ココア】	【ほうじ茶】
	7	【豆乳】	【豆乳】	【水】	【豆乳】	【oikos】	【豆乳】	【牛乳】	【オレンジ】
	8	【ココア】	【ココア】	【牛乳】	【oikos】	【豆乳】	【ココア】	【oikos】	【oikos】
	9	【oikos】	【oikos】	【オレンジ】	【ココア】	【ココア】	【oikos】	【豆乳】	【コーン】
	10	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【コーン】	【ココア】
	11	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【飲ヨ】	【飲ヨ】
番号	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	
表記①	NS-FUJI	NS-SLIM	TOHEI-PAK	NP-PAK	Tetra Prisma® Aseptic	Tetra Gemina® Aseptic	ペットボトル	ペットボトル	
表記②	果汁100%	雪印 飲むヨーグルト	ほうじ茶	ピルクル	オーツミルク	無糖珈琲	いろはす	伊右衛門	
種類	アルミ付紙パック	紙パック	紙パック	紙パック	キャップありアルミ付紙パック	キャップありアルミ付紙パック	ペットボトル	ペットボトル	
容量(mL)	200	190g	1000	455	1000	1000	560	600	
飲み残しランキング ↑少 ↓多	1	【水】	【水】	【水】	【ほうじ茶】	【ほうじ茶】	【水】	【水】	【水】
	2	【オレンジ】	【珈琲】	【珈琲】	【水】	【水】	【珈琲】	【珈琲】	【珈琲】
	3	【珈琲】	【ほうじ茶】	【ほうじ茶】	【珈琲】	【珈琲】	【ほうじ茶】	【ほうじ茶】	【ほうじ茶】
	4	【ピルクル】	【オレンジ】	【オレンジ】	【牛乳】	【オレンジ】	【オレンジ】	【牛乳】	【牛乳】
	5	【ほうじ茶】	【ピルクル】	【牛乳】	【オレンジ】	【ピルクル】	【牛乳】	【オレンジ】	【ピルクル】
	6	【牛乳】	【豆乳】	【ピルクル】	【ピルクル】	【牛乳】	【ピルクル】	【ピルクル】	【オレンジ】
	7	【豆乳】	【oikos】	【ココア】	【ココア】	【oikos】	【oikos】	【豆乳】	【豆乳】
	8	【ココア】	【牛乳】	【豆乳】	【oikos】	【ココア】	【豆乳】	【ココア】	【ココア】
	9	【oikos】	【ココア】	【oikos】	【豆乳】	【豆乳】	【ココア】	【oikos】	【oikos】
	10	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】	【飲ヨ】
	11	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】	【コーン】

多くの飲料容器では、【ほうじ茶】などの清涼飲料水と【珈琲】以外の飲料は【水】よりも飲み残しが多くなることが分かった。一方で、【飲むヨーグルト】と【コーンスープ】はすべての飲料容器の飲み残しランキングで下位になった。これらの飲料は、「まだ残っているような重さを感じるけれど、中身は出てこなくて飲み終わったことにする」という実体験とも一致すると思う。

また、今回は、計測する際に、中の飲料を出すときには必ずしも飲み口から出しているわけではなく、紙パックの上部から注ぐ形で飲料を出している(右写真)。紙パックを何度も洗って完全に乾かすために上部を開く必要があり、実験は本来飲む形とは異なる注ぎ方になっているものもある。キャップつき紙パックのふたの接続部分は飲料



料が入りこむ隙間が多く(左写真)、紙パックはペットボトルと違い、外から飲料が見えないことをふまえると、実験の計測値は、紙パックの飲み残しとしては実際よりも少ないのかもしれない。

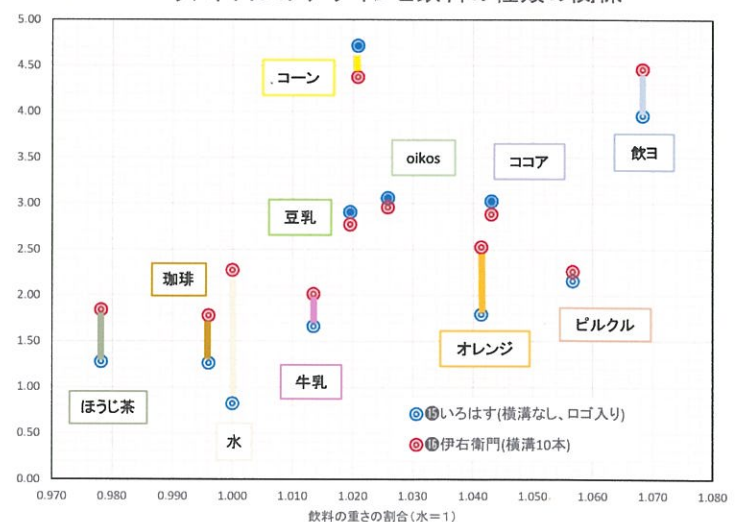
それでは、容器と飲料の種類はどのように、飲み残しに影響を与えているのか、詳しく分析していきたい。

6. 飲料容器の分析 <壁面>

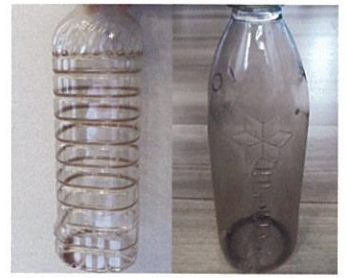
【ペットボトルでの比較】

11種類の飲料を入れ、飲み残しを計測したデータを2種類のペットボトルについて比較をする(⑮と⑯、右グラフ)。この2種類のペットボ

飲み残しの量(%) ペットボトルのデザインと飲料の種類の関係



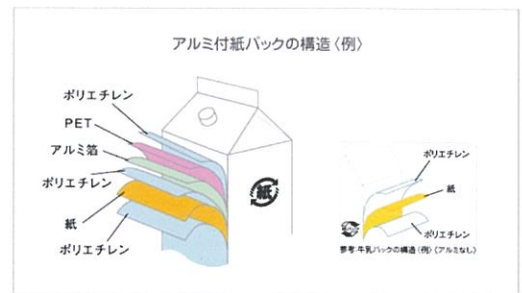
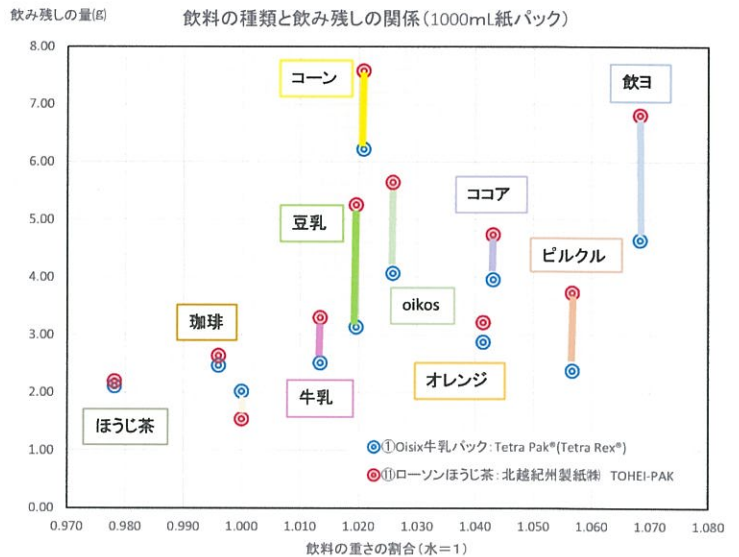
ルとは、シンプルなボトルにロゴが入った⑮いろはすと、ペットボトルのデザインの中でも横溝が多く入っている⑩伊右衛門である。ペットボトルのデザインにおいては、横溝の本数や凸凹の多さが、飲み残しに大きく影響するため、【水】のデータでは⑩伊右衛門の方がやはり飲み残しが多くなっている。水と重さが近い【ほうじ茶】や【珈琲】、【牛乳】では同じように⑩伊右衛門の横溝に飲料が入り込み、⑮いろはすよりも飲み残しが多くなる結果になった。しかし、【豆乳】や【コーンスープ】など水よりも重い4種類の飲料では、⑮いろはすの方が飲み残しが多くなった。これは、飲料によってペットボトル内側全体がコーティングされたことで飲み残しが増えたと考えられる(右写真)。飲料の種類が、飲み残しに影響を与えていることがよく分かる結果となった。



【ココア】で計測した際のペットボトルの様子。⑮いろはすは、【ココア】で全体的にコーティングされている。それによって、横溝10本の⑩伊右衛門よりも飲み残しが増えたのは驚き！

【1000mL 紙パックでの比較】

大型の紙パック2種類について、飲み残しのデータを比較する(①と⑪、右グラフ)。この2つは、縦7cm×横7cm×高さ23.5cmと寸法、容量、形は全く同じなので、内側の壁面の面積はほとんど同じだが、紙パック容器を作っているメーカーが異なる。飲み残しを比べると、飲み残しが少ない飲料【ほうじ茶】【珈琲】【オレンジ】ではその差も小さいが、飲み残しが増えてくると、差も大きくなる飲料があることが分かる。また、見た目が同じ紙パック容器でも、⑪ローソンほうじ茶の方が、飲み残しが多くなりやすいことも分かった。飲料の特徴によって、紙パックの素材の違いの影響を受けやすいことがあるのだろうか。



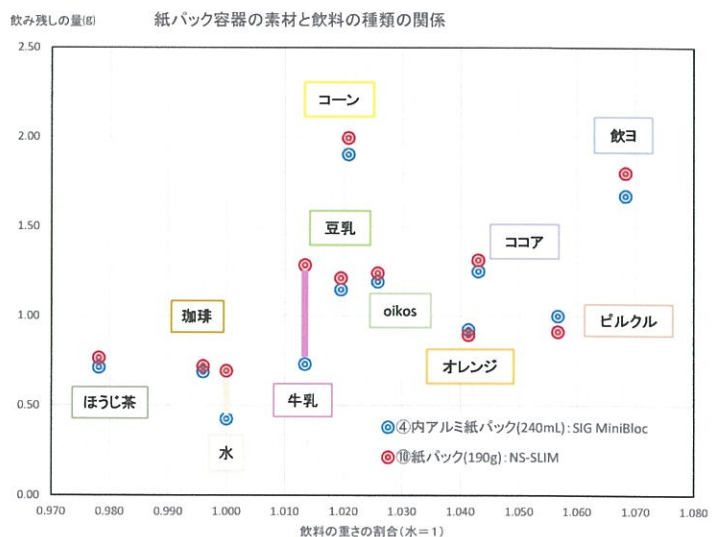
出典：アルミ付紙パックリサイクルプロジェクト HP

7. 飲料容器の分析② <素材>

【アルミ付紙パックと紙パックの比較】

紙パックには、冷蔵保存用の紙パックと常温保存も可能な内側にアルミ箔をはさんだをアルミ付紙パックがある。アルミ付紙パックの方が、多層構造になっており、わずかに紙パックよりも厚みがあるが、飲料の触れている素材は、どちらもポリエチレンである(右図)。

同じような容量、形状である、アルミ付紙パック(④oikos)と紙パック(⑩飲むヨーグルト)の飲み残しを比較してみる。すると、ほとんどの飲料で、2つの容器の飲み残しは近い数値になった(右グラフ)。小型の紙パックにおいては、アルミ箔の有無(=素材の厚み)は飲み残しには影響を与えていないように見える。小型の容器だと、壁面の面積が小さいため、その影響も小さいからなのかもしれない。ここからも、飲み残しの違いが飲料によるものであることが分かる結果が得られた。



【アルミ付紙パック 3 種類での比較】

では、容量が近い(200mL~240mL)、メーカーの異なる、アルミ付紙パック 3 種類を比較する。⑤ソイラテと⑨果汁 100%オレンジは、縦 4.2cm×横 3.3cm×高さ 11.8cm と形がまったく同じ紙パック容器である。すると、飲み残しはグラフのようになり(右グラフ)、同じ形状のアルミ付紙パックと紙パックを比較したときとは異なり、数値にばらつきが見られた。このことから、同じ形状や容量であっても、飲み残しが少ない容器、多い容器があるということになる。前述の 1000mL の紙パックでも見られた性質だったが、同じように見える素材でも、細かく分析すると異なる性質があるということなのかもしれない。

さらに、⑨果汁 100%オレンジと⑤ソイラテの数値の間隔は、【ほうじ茶】【珈琲】ではさほど差がないが、【コーンスープ】【牛乳】【ピルクル】では差が広がっていることが分かる。飲料の性質が素材によって大きく影響することがあるということなのだろうか。

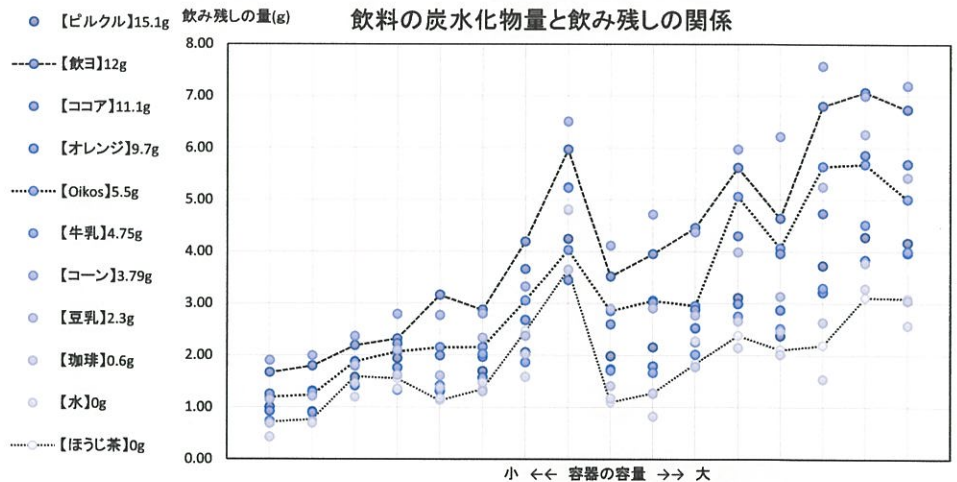
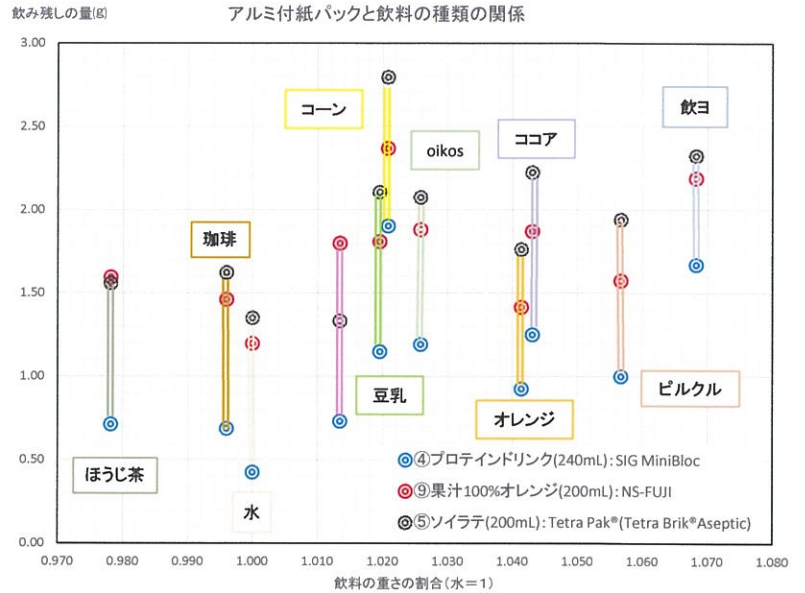
【考察】

飲み残しのデータを比較してみると、紙パックの飲み残しには容量による影響と、紙パックの素材による影響があることが分かった。同じポリエチレンなのに、飲料の触れている表面素材に何か違いがあるかもしれないというのは、意外な結果だった。このことは、表面素材による影響は、飲料との相性と考えることもできそうだ。

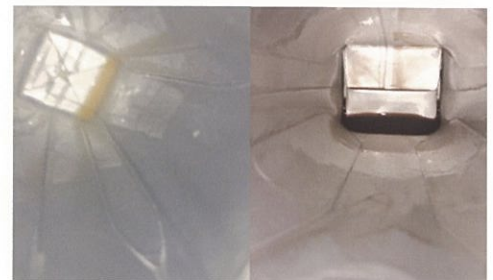
8. 飲料成分の分析①

<炭水化物量>

次に、飲料の成分に注目し、飲料に表記されている栄養成分表の炭水化物量をもとに、飲み残しに影響しているかを調べてみる(右グラフ)。炭水化物のほとんどは糖質であり、炭水化物量が多い＝糖質が多い飲料になるが、炭水化物量が多い飲料ほど、飲み残しが多くなる傾向がよくわかる。また、グラフ横軸は容器の容量を示しており、右に行くほど容量が大きい容器の値になっている。飲料容器の容量が大きくなれば、飲料がくっつく壁面の面積が増えるため、炭水化物量が多い飲料ほど飲み残しの増加幅も大きくなっている。実験でも容器から出す工程を何度も続けていると、容器の内側の飲料で壁面がベタベタしてきて、飲料が下に向かって落ちにくくなっている様子が観察できた(写真)。



【飲料名称】の数値は 100mL あたりの炭水化物量。マーカーの濃い色ほど炭水化物量が多く含まれる。

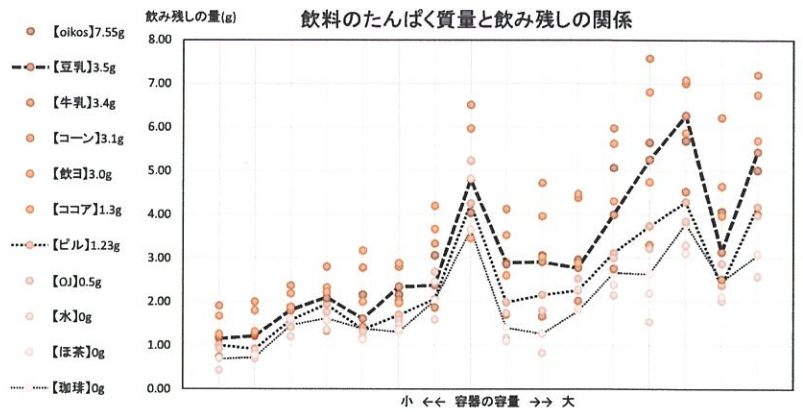


壁面に飲料が付いている様子。
ベタベタしている要因の一つは糖分だと思われる。

＜たんぱく質＞

次に、たんぱく質は飲み残しに関係しているのか、炭水化物量と同じように、たんぱく質量で比較をしてみる(右グラフ)。

豆乳の紙パックの飲み残しが多い印象があったので、たんぱく質も要因になっていると予想していたが、やはりたんぱく質も、飲み残しに影響を与えている。それぞれの飲料のたんぱく質量の差は小さいが、おおむね飲み残しに関係があることは確認できた。



【飲料名称】の数値は100mLあたりのたんぱく質量。マーカーの濃い色ほどたんぱく量が多く含まれる。

9. 実験3

【目的】紙パックの素材と飲料との相性を計測する＜牛乳パックとの接触角＞

【新しい視点と予想】紙パックの飲み残しは、容器の容量や飲料の成分が影響を与えていることが分かった。同時に、同じような紙パック、アルミ付紙パックでも飲み残しに差があることも分かった。これは、容器の形状ではなく、紙パックの壁面の素材と飲料に相性があるのではないかと新しい視点が生まれてきた。

2023年の科学の芽表彰式の懇親会にて、筑波大学の先生から飲料の性質を研究する際に「接触角」という考え方がないとアドバイスをいただいた。アドバイスを活かし、紙パックの素材と飲料の相性は、飲料の接触角を計測して解明していきたい。飲み残しが多くなる飲料は、接触角がどのようになっているのだろうか。

接触角とは：落とした液滴と個体表面とで形成される角度。

接触角が大きいことを「ぬれにくい」、接触角が小さいことを「ぬれやすい」と表すことができる。

出典：三洋貿易㈱科学機器部 HP、協和界面科学㈱HP



【方法】

- ① 箱に分度器を固定する(蓋つきの木箱の隙間に分度器を挟むと垂直に立つ)
- ② 調べたい紙パックをカード状に切り、プラスチックカードに貼る
- ③ 分度器の中心に②の紙パックカードの端を合わせて、中心側の辺のみを固定する
- ④ 調べたい飲料(冷蔵庫で冷やした状態)をスポイトで取り、2滴カードの上に液滴が真円になるように落とす(装置については右写真参照)
- ⑤ カメラを液滴にピントがあうように、カメラを調節する(下段左写真)
- ⑥ カードを少しずつ棒で持ち上げながら、連写する(下段右写真)
- ⑦ 液滴が流れたら連写を止める
- ⑧ 流れた飲料をふき取り、紙パックの表面を乾かす
- ⑨ ④から⑧を5回くり返す
- ⑩ 撮った画像を角度計測アプリ(Angle Mater)で、接触角を計測する



飲料を2滴にしたのは、1滴だと90度の傾斜でも流れないものがほとんどだったため。液滴が流れる様子も観察することも考え、2滴で計測した。



接触角を計測するため、液滴をできるだけ真横から撮影したい。液滴は見えるが、土台のカードがうすくしか見えない角度を探し、カメラを調整した。

液滴の様子はカメラで毎回調節しながら行ったが、液滴にピントを合わせるのはとても難しく、5回の撮影のうち画像で接触角を計測できたのは3~5回だった。また、ピントが合った液滴の写真は傾きが20度までしか撮れず、流れ落ちた瞬間の紙パックの角度は目で確認したものを記録している。

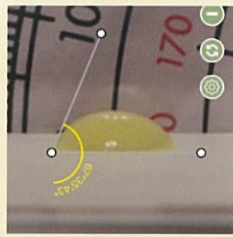
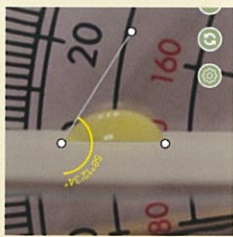
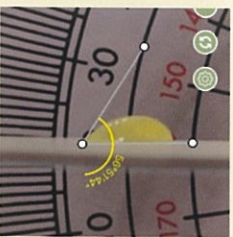
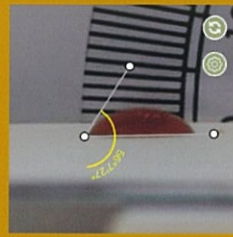
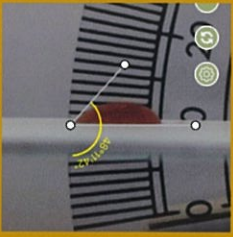
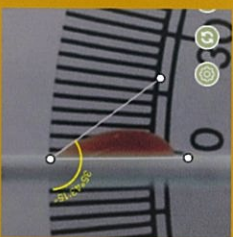
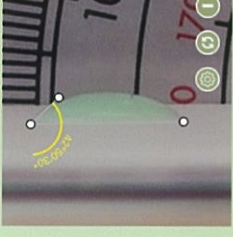
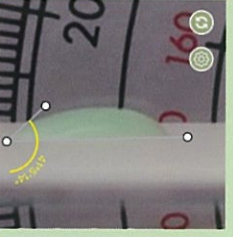
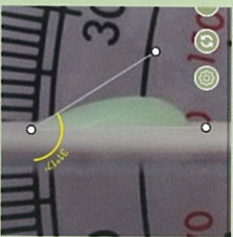
【結果・分析】

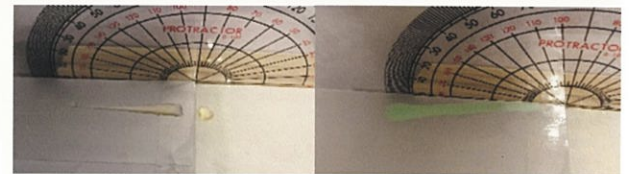
①Oisix 牛乳パックの紙パック上の飲料の様子を観察すると、下の表のようになった。11種類の飲料の中で、傾斜のない紙パック上で計測した接触角が最も大きかったのは、【水】だった。また、紙パックを傾けても、液滴の形はあまり変わらず、傾斜が40度から50度ほどになると液滴はころっと流れた。【珈琲】も飲料の中でも接触角が大きいことが分かった。

【水】よりも液滴の形の変化が速く、傾きが35度から40度のときに流れたが、【珈琲】も液滴はころっと流れた。一方、【oikos】は飲料の中でも接触角が小さく、液滴の形が平べったくなった。紙パックを傾けるとゆるやかに形が変化し、30度から35度のときに流れ落ちた。

流れ落ちる液滴にも特徴が見られた。【水】【ほうじ茶】【珈琲】などは、液滴が落ちる時は分度器の中心に向かって丸い形で落ちるのに対し、【oikos】【飲むヨーグルト】などは、もともとあった場所から落ちた液滴が分離せず、流れる道ができることが観察できた。紙パックの傾きがない状態に戻ると、飲料が流れてきた道に戻るような動きをし、紙パック上にとどまった。液滴の動きからも、飲み残しが多くなる要因が分かる結果となった(右写真)。

<①Oisix牛乳紙パック上の接触角>

飲料	傾斜なし	傾斜10度	傾斜20度
【水】	 67.35°	 58.12°	 56.51°
【珈琲】	 56.7°	 48.11°	 35.43°
【oikos】	 42.5°	 41.5°	 31.17°

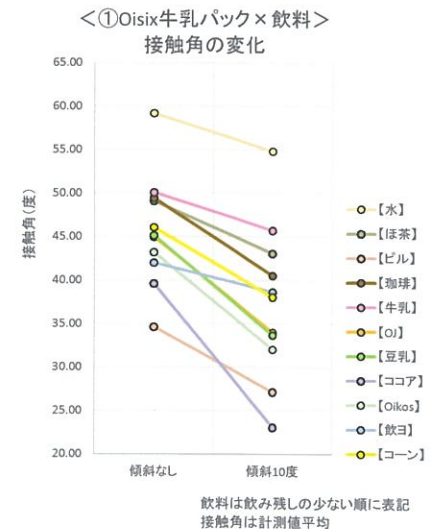
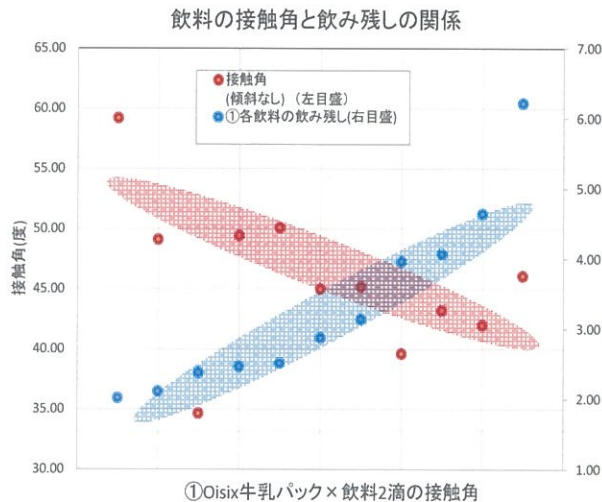


【ほうじ茶】(左)と【oikos】(右)の撮影後の様子。
【ほうじ茶】は滴が落ちきっているのに対し、【oikos】は元の滴の場所に戻ってきている。【oikos】の紙パックへの密着度が高いことを表している。

各飲料の接触角(傾斜がないとき)と飲み残し(①Oisix 牛乳パックの計測値)の関係をグラフにしてみる(左グラフ)。飲み残しが多くなる飲料ほど、紙パックとの接触角は小さくなるのが分かる。また、接触角が小さい飲料ほど、液滴の形がくずれるのが早い(右グラフ)。そして、液滴の形がくずれた後、紙パックから離れて液滴が転がるのではなく、紙パックとの接着面はそのまま液滴が動くので、液滴が紙パックの壁面に広がることになる。結果的に、紙パックが飲料によってコーティングされることにつながり、飲み残しになるという仕組みが分かった。

また、観察していて気がついたのは、炭水化物量が多い飲料は、接触角が小さくなる傾向があることだ。

また、【ほうじ茶】【牛乳】など原材料が一つで構成されている飲料は



接触角が大きく、【ココア】【oikos】【ピルクル】など糖分を多く含み、原材料が多くの物質で構成されている飲料は接触角が小さくなっているのではないかという疑問も生まれた。

10. 実験4 <アルミ付紙パックと接触角>

実験3と同様に、各飲料とアルミ付紙パックとの接触角を計測する。6ページの少量容器同士の分析では、アルミ付紙パックと紙パックでは飲み残しの差は出なかったが、接触角に違いはあるのだろうか。

【結果・分析】アルミ付紙パックの上では、すべての飲料の接触角が紙パック上よりも大きくなるという結果になった(右グラフ)。紙パック上では、接触角が50度未満の飲料でも、アルミ付紙パック上では60度以上の接触角が計測された(右下表)。アルミ付紙パックと紙パックは飲料が触れている素材はポリエチレンだが、ここまで明確に違いが出るということは、アルミ付であることや多層構造の影響もありそうだ。

観察していると、接触角が大きいことで、液滴が転がりやすくなり、液滴が流れるタイミングは早まっていると感じた。しかし、流れたときに飲料が密着する様子は、紙パックのときと同じように見られた。液滴の流れやすさは小さい容器の飲み残しには良い影響を与えているかもしれないが、壁面が広くなるとその効果はうすれてしまうのかもしれない。

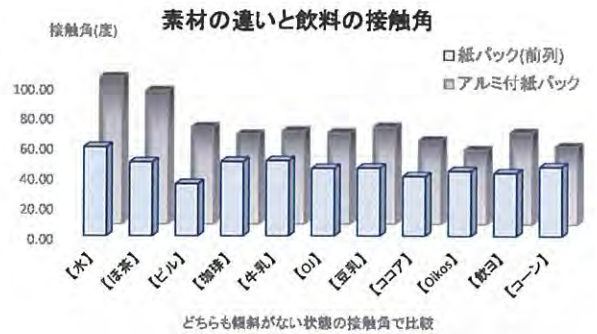
11. おわりに

紙パックは中の飲料が外から見えず、飲み残しについて残念に思う機会がペットボトルに比べて少ないが、研究を進めると、実際の紙パックの飲み残しの多さには衝撃を受けた。ペットボトルの研究から一歩進んで、紙パックの飲み残し、紙パックの素材と飲料との接触角について計測し、新しい発見がある一方で、世の中の大きな課題にも気が付いた。

近年は、脱プラスチックの流れで紙パックが多く使われている。しかし、ペットボトルと紙パックの回収率を比較すれば、単に紙パックに変更するだけではエコとはいえないのではと思った。また、紙パックで飲料を販売するなら、品質面でも長期常温保存ができるアルミ付紙パックの方がニーズは高くなるはずだ。しかし、アルミ付紙パックの回収・リサイクルのシステム

は、あまり整っておらず、アルミもパルプも再利用できるのに、多くのアルミ付紙パックは残念ながら可燃ごみとして捨てられている。ペットボトルのように、コンビニエンスストアや自動販売機のゴミ箱でアルミ付紙パックの回収ができるようにならないと、脱プラスチックの本当の目的は達成されないと思う。そのような紙パックリサイクルシステムが近い将来実現できるように、私は洗う手間のない紙パック、アルミ付紙パックを開発したい。便利に、そして衛生的にリサイクルするには、どんな工夫を加えた素材の紙パックがいいのだろうか。「飲み残しゼロを目指す」という飲料容器に新しい考え方が広まる、エコな未来にしていきたいと思った。

今回、11種類の飲料を使ったが、普段飲まないジュースを試したり、美味しくアレンジしたりして、各飲料メーカーの商品の工夫を垣間見ることができ、楽しい経験にもなった。



<紙パックの素材が異なるときの飲料の接触角の違い>

飲料	紙パック	アルミ付紙パック
【ピルクル】	47.5°	70.48°
【豆乳】	46.37°	73.3°
【飲む】	38.32°	64.3°