

テーマ

PET ボトルの人間工学的研究

—新角型ボトルの評価と開発—

コカ・コーラ東京研究開発センター
千葉大学工学部デザイン工学科人間生活工学教室

目 次

(頁)

1.	はじめに	2
2.	目 的	2
3.	実 験「ボトル使用における負担の比較」	2
	3. 1 実験－1 「開栓時の筋負担」	3
	3. 2 実験－2 「把持時の筋負担」	3
	3. 3 実験－3 「開栓時のトルクと筋負担の関係」	3
	3. 4 実験－4 「主観評価」	4
4.	実験結果	5
	4. 1 結果－1 「開栓時の筋負担」	5
	4. 1. 1. ①ボトル側の手の負担について	5
	4. 1. 2. ②キャップ側の手の負担について	5 - 6
	4. 2 結果－2 「把持時の筋負担」	6 - 7
	4. 3 結果－3 「開栓時のトルクと筋負担」	7 - 8
	4. 4 結果－4 「主観評価」	9
5.	実験まとめ	9 - 1 0
6.	結 論	1 0
7.	おわりに	1 0

1. はじめに

現在市販されている PET ボトルの形状は、材料特性の他に、スタイリングデザインに主眼が置かれている。持ちやすさや開栓しやすさなどのユーザ要求については、これまであくまでも設計者の経験と主観に頼らざるを得なかった。そこで、ユーザ要求についてもファンクショナルデザインの視点を持ち、確固たる方法論に基づいた設計方法が必要であると考えられる。

2. 目的

本研究では、人間工学的方法により PET ボトルの新しい評価・デザイン方法を提案し、新角型ボトルの有効性を立証することを目的とした。今回は、アクエリアスのブランドイメージである『スポーツ工学』という要素をパッケージでも体現するために、筋電図を用いての実験・検証を行い、科学的に立証された結果は宣伝活動に用いることとする。

3. 実験「ボトル使用における負担の比較」

生機学的・主観評価的方法を含む各種計測によって PET ボトルのユーザビリティを比較する。比較サンプルについては、商品特性を考えて以下の5種とする。最終的に新角型ボトル（プロトタイプ）の優位性を見出していく。

愛称	ダカラ	ポカリ	アクティー	ゲータ	プロト
写真	 図 1	 図 2	 図 3	 図 4	 図 5
概要	28 キャップ 215mm 高 □58 中央ラベル	28 キャップ 207mm 高 □60 上ハーフラベル	28 キャップ 207mm 高 □60 フルラベル	38 キャップ 200mm 高 67.4 中央ラベル	28 キャップ 215mm 高 □59.5 胴くびれ フルラベル
特徴	細身	一般品	旧商品	広口	開発品

3. 1 実験-1「開栓時の筋負担」

概要；開栓時の両上肢の筋活動（左右各 5ch）を測定し、モデル間の差を検定する。被験者は椅座位として椅子の高さは被験者の好みで調節し、ボトルは規定されたテーブルに置く。

タスク；ボトルを手に持つ直前の姿勢で待機し、合図でキャップを開ける。各条件 1 回ずつ。

ボトル；各ボトルに同一条件で霧吹きを行う。ボトルのボディは同一の物を使うが、キャップは毎被験者で交換する。液面がボトル上部に十分来るように与圧を加えながら、ボディくわえ型トルクメータを用いて最大 20kgf・cm のトルクで締める。

ダカラ、ポカリスエット、アクティブダイエット、ゲータレード、プロトタイプ

測定項目；左右の筋電図 **10ch** (浅指屈筋、総指伸筋、橈側手根伸筋、尺側手根屈筋、第一背側骨間筋)、
主観評価、各ボトルを把持した手とその手長、手幅、握り径

3. 2 実験－2「把持時の筋負担」

概要；ボトルを掴み持ち上げるといふ一連の動作における動作肢の筋活動を測定し、モデル間の差を検定する。被験者は椅座位として椅子の高さは被験者の好みで調節し、ボトルは規定されたテーブルに置く。

タスク；机の上に置かれたボトルを開栓時の手で把持し、口元まで持ち上げ（口に接触はさせない）、また元に戻す。各条件で **3回連続**。1回ごとに完全にボトルから手を離す。

ボトル；各ボトルに同一条件で霧吹きを行う。全被験者で同一の、市販ボトルを用いる。ボトルには特に工作は施さない。

ダカラ、ポカリスエット、アクティブダイエット、ゲータレード、プロトタイプ

測定筋；ボトルを持つ腕の筋電図 **5ch** (浅指屈筋、総指伸筋、橈側手根伸筋、尺側手根屈筋、第一背側骨間筋)、主観評価

3. 3 実験－3「開栓時のトルクと筋負担の関係」

概要；ボトル飲み口部をトルクメータに固定し、開栓時の手で開栓方向に、即座に最大随意収縮に至るように捻る。その際のトルクと筋活動を測定し、モデル間の差を検定する。トルクメータは肘屈曲位・肩内旋位・前腕回内寄りになる位置に空間内に固定し、被験者は立位として体幹との距離も規定する。

タスク；トルクメータに固定されたボトルを開栓時の手で把持し、開栓の向きに、ボトルが変形を始めるかあるいは最大力発揮まで捻り、その後脱力する。各条件で **3回連続**。1回ごとに完全にボトルから手を離す。

ボトル；各ボトルに同一条件で霧吹きを行う。全被験者で同一の、工作済みボトルを用いる。ボトルキャップはPP用接着剤で固定し、ジグはトルクメータにピン固定する。

ダカラ、ポカリスエット、アクティブダイエット、ゲータレード、プロトタイプ

測定筋；ボトルを持つ腕の筋電図 **5ch** (浅指屈筋、総指伸筋、橈側手根伸筋、尺側手根屈筋、第一背側骨間筋)、トルク、主観評価



写真1 実験風景

3. 4 主観評価

筋電図とは別に主観での評価を行う。データは下記に示す主観評価用紙を用いて VAS (visual analogue scale) 法により計測された。統計分析には反復測定分散分析および SNK 多重比較検定を行った。

PETボトル実験 主観評価用紙 (実験-1 ~ 実験-3 実施時に使用)

被験者 _____ (No. _____) _____ 年 _____ 月 _____ 日 (____) _____ :

1番ボトル ()

■ボトルを持ち上げる時の握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のボトルの握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のキャップのひねりやすさ

捻りにくい |-----| とても捻りやすい

2番ボトル ()

■ボトルを持ち上げる時の握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のボトルの握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のキャップのひねりやすさ

捻りにくい |-----| とても捻りやすい

--- (中 略) ---

5番ボトル ()

■ボトルを持ち上げる時の握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のボトルの握りやすさ

握りにくい |-----| とても握りやすい

■キャップを開ける時のキャップのひねりやすさ

捻りにくい |-----| とても捻りやすい

本日は実験にご協力くださりまして、ありがとうございました。

開栓時にボトルを把持した手 (全実験で統一)	ポ ; ポカリ	ア ; アクティブ	ダ ; ダカラ	ゲ ; ゲータ	プ ; プロト
年齢	性別	利き手	ボトル側手長	ボトル側手幅	ボトル側示指握り内径
歳	男 ・ 女	右 ・ 左	mm	mm	mm
被験者名			記入者名		

4. 実験結果

結果については、データが膨大となるために、統計的有意差のあったものを列挙し説明を加える。

4. 1 「開栓時の筋負担」

各被験者は1ボトルにつき1回ずつ、同一トルクによって締め付け固定されているキャップを自由に開栓した。筋電図波形の解析区間は、EMG波形の立ち上がりから立ち下り、すなわち何度か捻って完全開栓するまでに要した区間とした。筋電位は区間内の実効値を代表値とした。統計分析には反復測定分散分析およびSNK多重比較検定を行った。

4. 1. 1 ①ボトル側の手の負担について

< ボトル側 尺側手根屈筋の負担 >

開栓時のボトル側の手首の屈曲（掌屈）および尺側（小指側）方向の負担が、ゲータレードで大きい傾向があった。

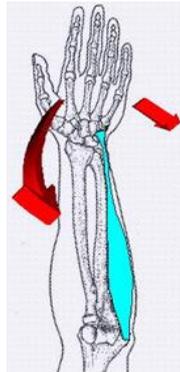
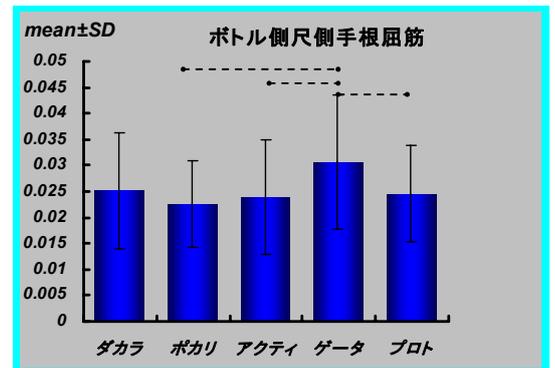


図6

尺側手根屈筋<左手>



グラフ1

ボトル側 尺側手根屈筋の負担指数

4. 1. 2 ②キャップ側の手の負担について

< キャップ側 浅指屈筋の負担 >

開栓時にゲータレードで、ポカリスウェットおよびプロトタイプに比べてキャップ側の手の握力負担が有意に大きかった。

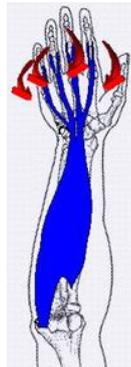
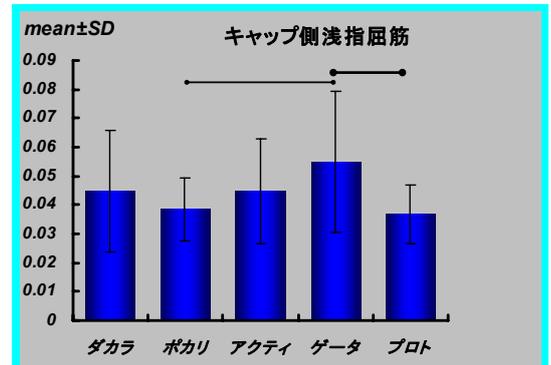


図7

浅指屈筋<右手>



グラフ2

キャップ側 浅指屈筋の負担指数

< キャップ側 総指伸筋の負担 >

開栓時にゲータレードは、キャップ側の手首の背側方向の負担が他のすべてのボトルよりも有意に大きかった。

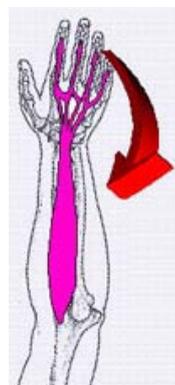
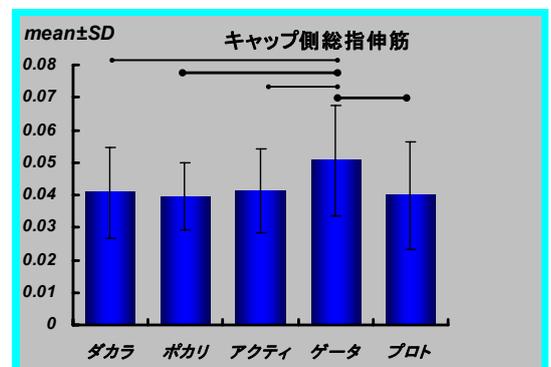


図8

総指伸筋<右手>



グラフ3

キャップ側 総指伸筋の負担指数

< キャップ側 尺側手根屈筋の負担 >
 開栓時のキャップ側の手首の屈曲（掌屈）および尺側（小指側）方向の負担が、ゲータレードで有意に大きかった。プロトタイプとポカリスウェットはゲータレードよりもこの負担が有意に小さかったが、これらは浅指屈筋の結果（グラフ2）と同様であった。

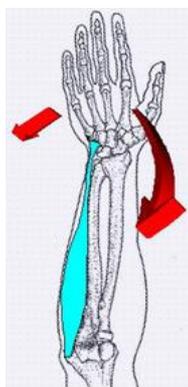
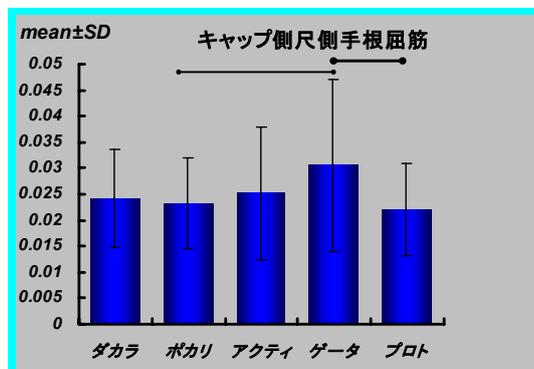


図9

尺側手根屈筋<右手>



グラフ4

キャップ側 尺側手根屈筋の負担指数

4. 2 「把持時の筋負担」

各被験者は1ボトルにつき3回ずつ、机の上に置かれたボトルを把持して口元まで持ち上げる動作をおこなった。椅子の高さは被験者がタスクを実行しやすいように適宜調整した。筋電図波形の解析区間はEMG波形の立ち上がりから立下り、すなわち持ち上げ作業に要した区間とした。筋電位は3試行それぞれの区間内の実効値を求め、その平均値を各被験者・各モデルの代表値とした。統計分析には反復測定分散分析およびSNK多重比較検定を行った。

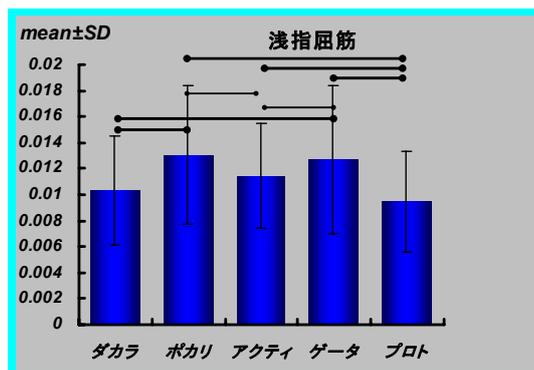
< ボトル側 浅指屈筋の負担 >

ボトルの把持・持ち上げ時の握力の負担は、プロトタイプとダカラが有意に小さかった。



図10

浅指屈筋<左手>



グラフ5

ボトル側 浅指屈筋の負担指数

< ボトル側 橈側手根伸筋の負担 >

ボトルの把持・持ち上げ時の手首の橈側方向（ボトルを持ち上げる時の上側、抗重力方向）の負担について、ダカラがポカリスウェットおよびゲータレードに比べて有意に小さかった。把持位置と慣性モーメントの関連を検討する必要があると考えられる。

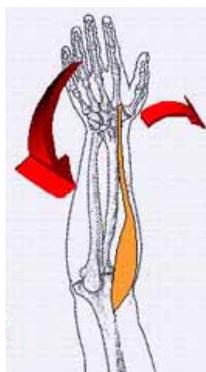
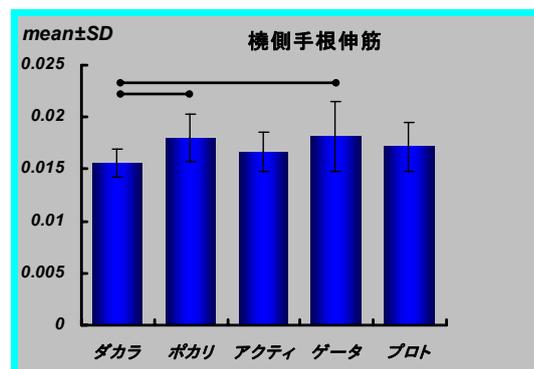


図11

橈側手根伸筋<左手>



グラフ6

ボトル側 橈側手根伸筋の負担指数

< ボトル側 第一背側骨間筋の負担 >

ボトルの把持・持ち上げ時の指の負担は、ポカリスウェットがすべてのボトルより有意に大きかった。

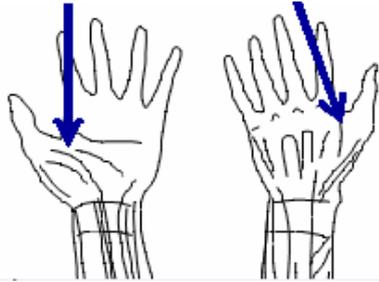
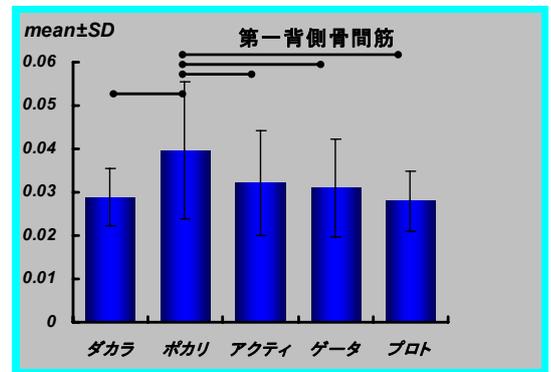


図 1 2 第一背側骨間筋<左手>



グラフ 7

ボトル側 第一背側骨間筋の負担指数

4. 3 「開栓時のトルクと筋負担」

各被験者は 1 ボトルにつき 3 回ずつ、トルクメータに固定されたボトルを開栓の向きに捻る動作をおこなった。トルクメータは水平面に対して 45 度下方に傾けて机の上に設置されており、椅子の高さおよび位置は被験者がタスクを実行しやすいように適宜調整した (図 1 3)。測定の結果、トルクは初期に遊びを締める部分と、その後の“増し締め”に相当する区間があることがわかった (図 1 4、最下段がトルク波形)。そのため筋電図およびトルク波形の解析区間は、この増し締めに相当するトルクを発生している期間とした (図 1 4 中の点線で囲まれた部分)。筋電位はそれぞれの区間内の実効値を求め、トルクについても同様に、平均値、ピーク値、時間に対する相関係数 (傾きの程度) および時間幅を求め、それらの 3 試行分の平均値を各被験者・各モデルの代表値とした。統計分析には反復測定分散分析および SNK 多重比較検定を行った。



写真 2

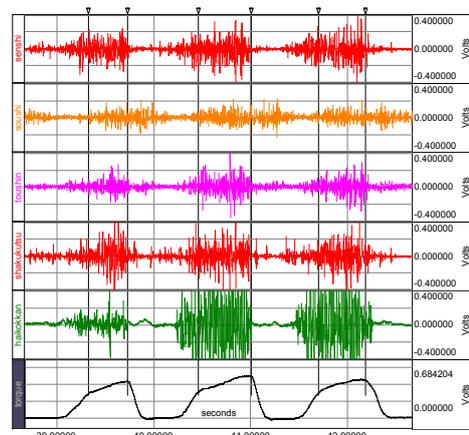


図 1 3

< ボトル側 橈側手根伸筋の負担 >

ダカラが有意に開栓トルク発生時の手首の橈側方向 (ボトルを持ち上げる時の上側、抗重力方向) の負担が小さかった。平均トルクに差がないことから、ダカラでは他よりトルクメータの軸に沿わない成分が小さかった可能性がある。ダカラの、ストレートでかつ握りこまない細めの形状が影響している可能性がある。

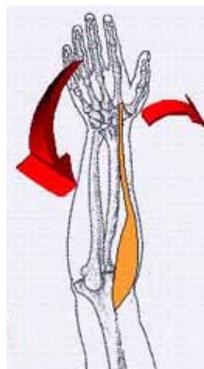
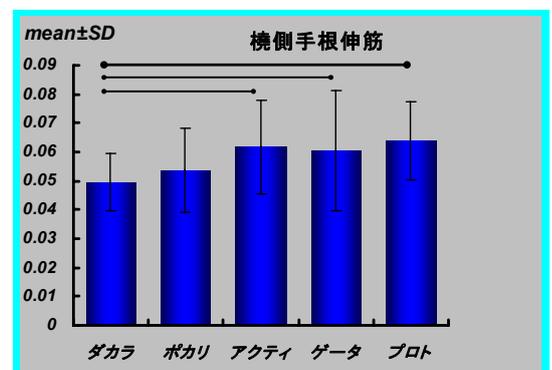


図 1 4

橈側手根伸筋<左手>



グラフ 8

ボトル側 橈側手根伸筋の負担指数

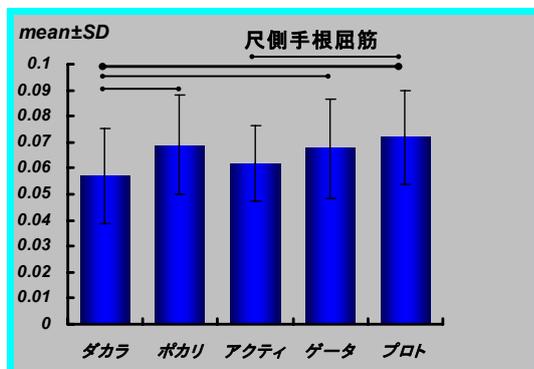
< ボトル側 尺側手根屈筋の負担 >

ダカラが有意にトルク発生時の手首の屈曲（掌屈）および尺側（小指側）方向の負担が小さかった。プロトタイプはアクティブダイエットおよびダカラより有意に同負担が大きかった。プロトタイプの握りこめる形状の効果の可能性がある。



図 1 5

尺側手根屈筋<左手>

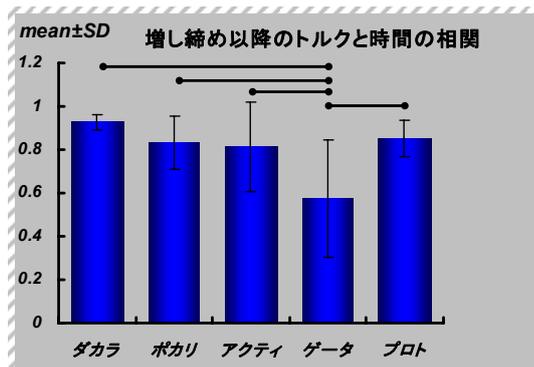


グラフ 9

ボトル側 尺側手根屈筋の負担指数

< 増し締め以降のトルクと時間の相関 >

トルク増し締めにおいて、ゲータレードは他より有意に、時間に伴うトルクの上昇が鈍かった。つまり全体としては、ゲータレードでは遊び締めの初期トルクで飽和以降は、プラトーにより近かったこと（トルクの上昇が少ない）がわかった。

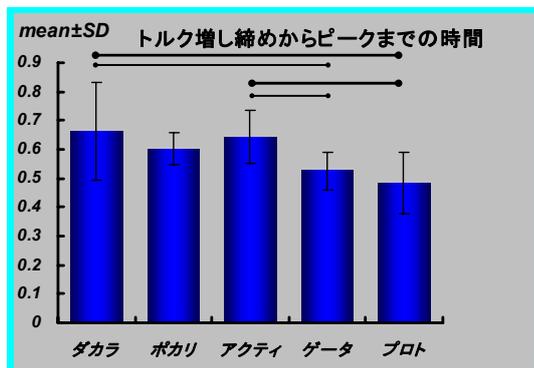


グラフ 10

増し締め後の トルク上昇指数

< トルク増し締めからピークまでの時間 >

増し締め以降ピークに達するまでの時間について、プロトタイプとゲータレードは有意に短かった。つまり、これらのボトルでは増し締めに入ってからすぐに最大トルクに達していた。トルクと時間の相関の結果（グラフ10）より、ゲータレードでは増し締め前からすでにピークに近いトルクを出す必要があったと考えられる。またプロトタイプではより瞬間的に開けられることから、先述の開栓時のキャップ側の手の負担（グラフ2, 3, 4）も小さかったと考えられる。各ボトルのキャップは同一の締め付けトルクのため、プロトタイプでは握りこむ形状と適度な変形によってキャップとの相対位置をより開けやすいように調整したり、手へのフィット効果が高まった結果である可能性がある。ゲータレードはこれとは異なり、ボトル本体の剛性が高いことでトルクの伝達効率が高かったためと考えられる。



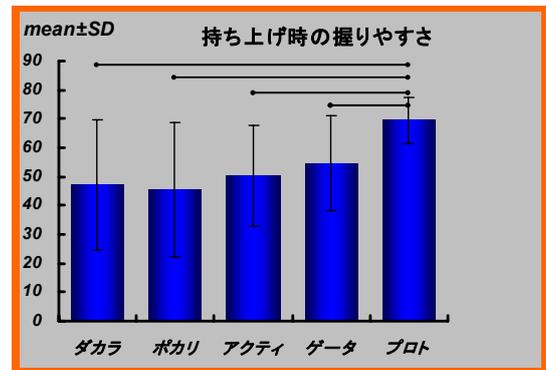
グラフ 11

トルク増し締めから
ピークまでの時間指数

4. 4 「主観評価」

< 持ち上げ時の握りやすさの主観評価 >

把持して持ち上げる場合に、他の全ボトルに対して有意にプロトタイプが持ちやすいと感じられた。

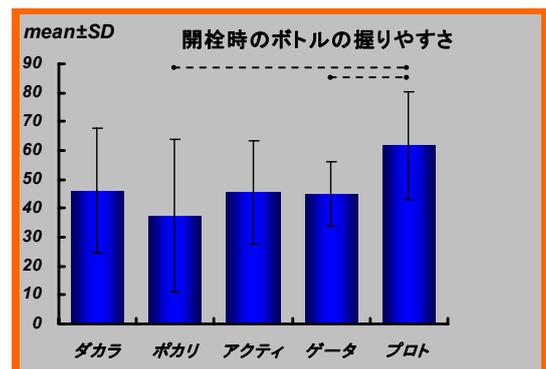


グラフ 1 2

持ち上げ時の握りやすさの主観評価指数

< 開栓時のボトルの握りやすさの主観評価 >

開栓時にプロトタイプが握りやすいと感じられる傾向があった。



グラフ 1 3

開栓時のボトルの握りやすさの主観評価指数

5. 実験のまとめ

結果と考察

ゲータレードはボトルのハンドリング（グラフ 1）も開栓時（グラフ 2, 3, 4）についても総じて負担が大きかった。また、プロトタイプでは検出できたゲータレードとの有意差が、ダカラではみられなかった（グラフ 2, 3）。

ゲータレードは開栓トルク発生時に継続的に強い力を入れる必要があった（グラフ 10, 11）。

③ポカリスウェットはボトルの把持・持ち上げ時の指の負担が最も大きかった（グラフ 7）。

ボトルの把持・持ち上げ時の筋負担は、プロトタイプが最も小さく、有意差はないがダカラが 2 番目であった（グラフ 5）。

開栓時についても、プロトタイプの負担軽減効果がダカラを若干、上回った（他との有意差が多く出ている）（グラフ 2, 3）。

ボトルの把持・持ち上げ時の手首の抗重力方向の負担はダカラが小さく（グラフ 6）、ボトル形状による慣性モーメントの影響が考えられる。プロトタイプとは有意差はなかった。

ダカラが有意に開栓トルク発生時の手首の上下方向（親指側-小指側）の負担が小さく（グラフ 8, 9）トルクメータの軸まわりに効率よく回旋力を発生できたと考えられる。ストレートでかつ握りこまない細めの形状が影響している可能性がある。

プロトタイプはアクティブダイエットおよびダカラより開栓トルク発生時の手首の下方向（小指側）の負担が大きく（グラフ 9）、プロトタイプの握りこめる形状によってトルクメータの軸まわり以外の成分の力みが大きくなった可能性がある。

プロトタイプではより瞬間的に開けられること（グラフ1 1）から、開栓時のキャップ側の手の負担（グラフ2, 3, 4）も小さかったと考えられる。握りこむ形状と適度な変形によって、キャップの位置をより開けやすいように調整したり、ボトルがより手にフィットした効果の可能性がある。上記⑦および⑧についてはトルクメータの軸に沿わずに力んだ様子が反映されており、⑨によりプロトタイプの有効性が示唆されていることから、実際の開栓時にプロトタイプよりもダカラが優れている根拠とはならない。

持ち上げ時のボトルの握りやすさは、プロトタイプが最も優れていた（グラフ1 2）。

⑫開栓時のボトルの握りやすさについてもプロトタイプが優れている傾向があった（グラフ1 3）。

6. 結論

- (1)①、④、⑤より、ボトルの把持・持ち上げおよび開栓時にはプロトタイプが最も負担が小さく、次にダカラであった。
 - (2)⑨より、プロトタイプは筋負担がむしろ小さい状況で、最もトルクが必要なキャップの初期開栓を速く行うことができた。
 - (3)⑩より、主観的にもプロトタイプの握りやすさが最も優れていた。
- 以上より、新角型ボトルのユーザビリティが高いことが明らかとなり、その理由として握り部のボトル直径が小さいこと、握り部が凹形状で握りこめること、適度な変形によって手へフィットしやすいこと、が考えられた。これは主観評価によっても支持された。

7. おわりに

本実験を始める前は、筋負担が少ない方が良いのか、或いは、人間工学手法で有意差を見出せるのか、全く見当が付かなかった。しかしながら、実験・分析を終えてみると、主観評価を軸とした理論的推論構築ができた。今までのボトル形状の開発には、心理的要素（モチーフ）に頼るものが多かったが、それを飛び越えて、アクエリアスのブランドイメージであるスポーツ科学を体現するボトル形状を、人間工学的手法（筋電図）を用いて開発・検証することが達成できた。更にこれらの成果は、マーケティング戦略と連動して、ブランド価値の向上に貢献することになった。

（図1 6）



図1 6