

メラの実現

～飛翔可能な燃焼物体の開発～

箕作 大地 工樂 瑛友 小杉 暖尚

兵庫県立神戸高等学校 総合理学科 2年

メラという火球を飛ばす魔法を実現することを最終目標とした。本研究では、可燃性ガスを内包した固体の泡¹を燃焼させることで実現を目指した。少数の固体の気泡が連結したもので燃焼を試したところ、十分に燃え広がったため、この方法でメラは実現可能であると考えた。そこで、プラスチックを軟化させ、気体を注入して液体の泡を作り、硬化させることにより、固体の泡の作製を目指した。その結果、固体の気泡を作ることは可能であったため、同様に固体の泡を作製することも可能であると予測される。以上の結果より、メラの十分な実現可能性を示すことができたと考える。

1. はじめに

1.1. 目的

技術の発展した現代、既に空飛ぶ車や自然な会話が可能な AI など、過去フィクションに登場したものが次々と実現されつつある。しかし“なぜか”魔法に関しては、実現を目的とした研究は進んでおらず、現状取り残されてしまっているといえるだろう。よって、今回は魔法実現の第一歩として、そのオープニングテーマが東京オリンピック 2020 の開会式における最初の曲としても選ばれた、日本が誇るゲーム「ドラゴンクエスト」における代表的な魔法である、火球を飛ばす魔法「メラ」を実現することを最終目的とした。

本研究ではメラを

- 直径 10 cm 程度の球体である
- 燃焼を続けながら 5 m 以上飛翔する
- 燃え尽きた後に何も残らない

の3つの条件を満たした物体(現象)であると定義し、「内包する気体が可燃性ガスである泡を燃焼させながら飛ばす」という方法で実現を試みることにした。これは、米村でんじろうらの動画[1]を参考にしたものである。この動画より、泡を燃焼させることに関しては可能であるとわかったため、この泡を飛翔可能にすること、つまり「飛翔に耐えうるほど”かたい”泡」を目的とし、研究を行うことにした。

1.2. 先行研究

昨年の研究では市販の洗剤と増粘剤を用い、かたい泡の作製を目指した。

かたい泡を作るため、界面活性剤の種類、混合比、濃度及び増粘剤の濃度の最適化を行った。その際、

振とうによる起泡後に泡を放置したときの体積や見た目の変化を判定基準とした。その後、最適化した液体を使用し実際に泡の飛翔と燃焼を試したところ、泡の粒²の大きさが一定以下になると、着火してもすぐに鎮火してしまう上に、すべてを燃焼させきるには泡の粒をかなりの大きさにしなければならない一方、泡の粒が大きくなると強度が下がり射出の圧力に耐えきれず泡が空中分解してしまうことがわかった。

1.3. 本研究の特徴

昨年の研究によって得られた結果より、液体の泡では適度な燃焼性と強度の両立が難しいとわかったため、泡の膜を液体から固体にすることによって強度面での問題をクリアし、適度な燃焼性と強度を両立させることを目指した。

2. 研究の方針

まず、固体の泡が液体の泡と同様に燃焼するのか、そして燃え広がるのかを、市販の「風船玉」(図1)を用いて検証した(実験Ⅰ)。次に、固体の泡の作製を行った。固体の泡は、プラスチックを軟化させ、気体を注入し、液体の泡を作り、それを硬化させることにより作製することを目指した。軟化の方法として、以下の2種類を用いた。



図1. 風船玉

【熱による融解(実験Ⅱ)】

プラスチックペレットを加熱し、軟化したところで気体を注入して泡を作り、温度を下げることに

¹ 「泡」は気泡が密集した塊のことを指す。

² 「泡の粒」は泡を構成する一つ一つの気泡のことを指す

より硬化させることを目指した。

【有機溶媒の使用(実験Ⅲ)】

風船玉は、ポリ酢酸ビニル(PVAc)を、酢酸エチルとエタノールの混合溶媒で軟化されたものであり、これらの溶媒が揮発することにより硬化し、固体の膜が形成される。PVAcを用いて、この原理で泡を作ることを目指した。

3. 実験Ⅰ 固体の気泡の燃焼

3.1. 方法

直径5 cm程度の風船玉の中に比率を変えながらメタンと酸素を封入し、点火した。また、直径1 cmほどの風船玉を複数連結させ、点火した。



図2. 酸素とメタン

3.2. 結果

風船玉は燃焼した(表1)。特に、燃焼の見た目などから、本研究で目指す炎は、酸素とメタンが同量程度の時に実現できるとわかった(図2)。また、気泡を複数連結させたときも、液体の泡と同様に、隣接した気泡へと燃え広がることがわかった。

図2. 酸素とメタンが同量程度のときの燃焼の様子

表1. 燃焼の様子

酸素とメタンの比	燃焼結果
酸素のみ	炎を上げず風船の膜自体が燃焼した
酸素が極端に多い	爆発した
酸素とメタンが同量程度	風船玉の内部から外部へ炎が広がるように燃焼した
メタンが極端に多い	風船玉の内部は燃焼せず外部で燃焼した

3.3. 考察

結果より、固体の気泡であっても燃焼し、かつ燃え広がるということがわかった。このことから、固体の泡を作ることができれば、メラの実現が可能であると考えられる。

4. 実験Ⅱ 熱融解による軟化

4.1. 材料・器具

- プラスチックペレット(表2)(①:(株)大創産業、②~④:(株)スタンダードテストピース、⑤:AvalonTech(株))
- 放射温度計 AD-5616((株)エー・アンド・デイ)

● ヒートガン HG-01Y (Anesty)

表2. 使用したプラスチックの一覧

	名前	略称	商品番号
①	グルースティック	グルー	T098
②	ポリプロピレン	PP	RPELLET00241150050
③	ポリプロピレン	PP	RPELLET00241010050
④	ポリスチレン	PS	RPELLET00281010050
⑤	エチレン酢酸ビニル	EVA	GC04

4.2. 方法

各プラスチックを金属製容器に入れ、ガスバーナーとヒートガンで加熱して軟化させた。加熱は、放射温度計³で表面温度を測りながら実施した。十分に軟化させたあと加熱を止め、先端が枝分かれしたチューブ(図3)によって液体状のプラスチックに窒素を注入して、液体の気泡をつくり、放置して硬化させた。

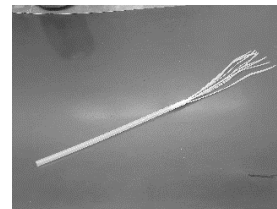


図3. 先端が枝分かれしたチューブ

4.3. 結果

温度を上げることでどのプラスチックも十分に軟化した(表3)。だが、気体を注入しても泡はできず、少数の大きな液体の気泡ができるにとどまった。これらの気泡のなかには硬化し、固体の気泡となるものも存在した(図4)。

図4. ①での固体の気泡



表3. プラスチックの熱融解の結果

	略称	結果	気泡の形成
①	グルー	160°Cほどで十分に融解した	できた(図4)
②	PP	260°Cほどで十分に融解した	できなかった
③	PP	300°Cほどで十分に融解した	できなかった
④	PS	煙により中断	
⑤	EVA	200°Cほどで十分に融解した	できなかった

4.4. 考察

泡ができなかった理由は、粘度が高いゆえに気体を注入した際、チューブと気泡の間に液体が入り込まず、同じ気泡に長時間気体が注入されることになったからであると考えられる。一方で、一部で固体の気泡ができたことから、気体の注入方法などを変え、上記の問題を解決することによりこの方法で固体の泡を作製できると考えられる。

5. 実験Ⅲ 有機溶媒の使用

5.1. 材料・器具

³ 反射率は0.80に設定した。

- プラスチック：PVAc 溶液（関東化学（株））
- 有機溶媒：アセトン・酢酸エチル・メタノール（米山薬品工業（株））
- フッ素系界面活性剤（東京化成工業（株））
- ① トリデカフルオロヘプタン酸
- ② ノナフルオロ-1-ブタンスルホン酸リチウム
- ボルテクサー（Heathrow Scientific）

5.2. 実験Ⅲ-1

〈方法〉50 mL コニカルチューブに有機溶媒 4 mL と 10 段階の質量の界面活性剤を入れ、ボルテクサーで 10 秒間振とうして起泡泡せ、振とう停止後の泡の持続時間を計測した。持続時間は、ボルテクサーが完全に停止してから、外側の一列を除いた全ての気泡が消えるまでの時間とした。各条件で 5 回ずつ計測を行った。

※持続時間について：全ての気泡が消えるまでの時間[旧基準]を計ると、たった一つの気泡が長時間残り続けるという現象が起こり、結果のランダム性が高くなってしまふと考え、外側の一列を除いた気泡が全て消えるまでの時間を計るという基準[新基準]を用いることとした。実際、変動係数⁴を比較（N=10）したところ [旧基準]（変動係数：0.20）よりも [新基準]（0.07）のほうがばらつきが小さかったため、優れた評価方法であると考えられる。

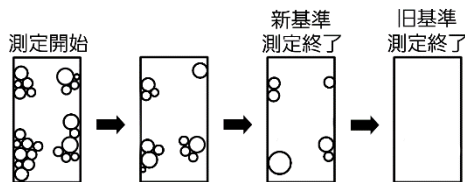


図 5. [新基準]と[旧基準]における測定方法

〈結果〉

界面活性剤①では、いずれの溶媒でも、一定以上の濃度では、界面活性剤の濃度が大きくなるほど、持続時間も長くなったが、アセトンは 0.16 g 付近から持続時間の上昇が緩やかになった（図 6, 7, 8）。

界面活性剤②では、いずれの溶媒でも、十分に気泡が形成できなかつた。

〈考察〉今回の用途では、②よりも①の界面活性剤のほうが優れていたと考えられる。（以降、①のみを用いた。）

アセトンにおける持続時間の上昇が緩やかになったことに関しては界面活性剤濃度が CMC⁵に達したからだと考えられる。

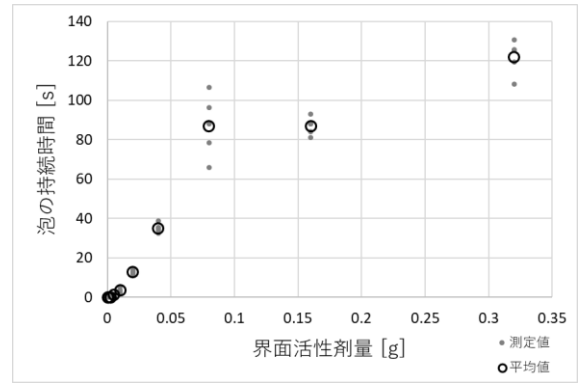


図 6. 実験Ⅲ-1 メタノールと①の結果

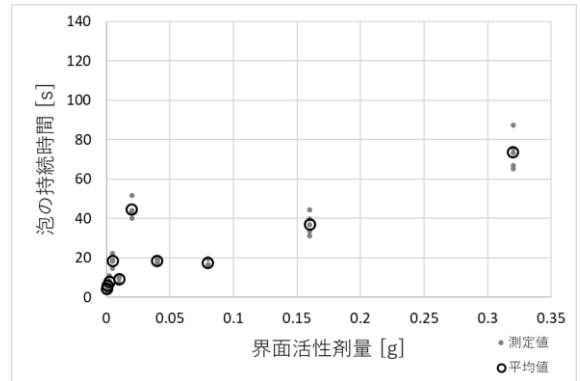


図 7. 実験Ⅲ-1 酢酸エチルと①の結果

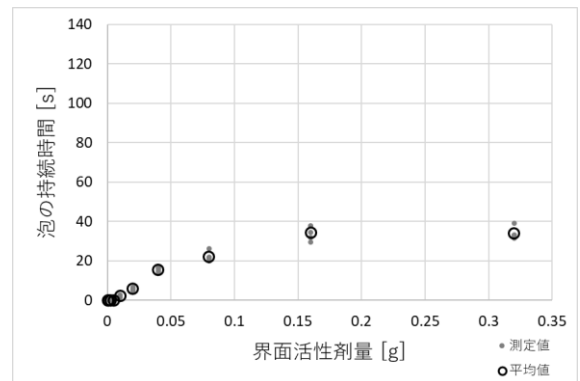


図 8. 実験Ⅲ-1 アセトンと①の結果

界面活性剤 0.32 g のときの持続時間に揮発速度をかけた値を求めたとき、メタノールの値が最も高かったため、硬化するまで存在し続けられる可能性が最も高いのはメタノールであると考えられる。

5.3. 実験Ⅲ-2

PVAc 量の最適化及び PVAc と界面活性剤が有機溶媒中に同時に存在することによる影響を調べる。

〈方法〉溶媒としてアセトンを用いた各サンプルに PVAc を 1 g ずつ溶解させて同様に計測を行った。一部の条件については、2 g 以上溶解させて計測した。また、先端が枝分かれしたチューブによる気体注入による起泡泡も行った。

〈結果〉実験Ⅲ-1 と同様に、界面活性剤の濃度が大

⁴ 分散を平均値で割ったもので、平均値の異なるデータのばらつきを比較するとき用いられる。

⁵ CMC（臨界ミセル濃度）：界面活性剤の濃度がこれを超えると、表面張力などの変化が緩やかになる。

きくなるほど、持続時間も長くなった (図9)。

粘度が高すぎたため、2 g以降は振とうでは極めて小さな気泡しかできず、気体注入でも実験Ⅲ-1と同様の原理で泡ができなかった。

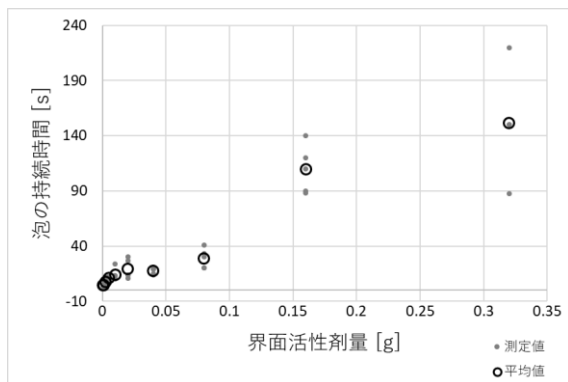


図9. 実験Ⅲ-2の結果

〈考察〉PVAcの有無でグラフの概形が大きく変わらなかったことから、界面活性剤とPVAcとの特殊な相互作用は存在しないと考えられ、PVAcが入った場合でも界面活性剤の最適量は変化しないと考えられる。また、PVAc量に関しては現在の方法では1 gが起泡可能な限界であるとも考えられる。

5.4. 実験Ⅲ-3

実験Ⅲ-1, 2を踏まえ、より良いと考えられる条件で実際に固体の泡の作製を試みる。

〈方法〉実験Ⅲ-2で用いたメタノール4 mLにPVAc 1 gと界面活性剤0.96 gを入れたものと、比較対象として、アセトン4 mLにPVAc 1 gと界面活性剤0.32 gを入れたものを振とうや気体注入によって起泡させ、放置することで硬化を試みる。

〈結果〉アセトンは起泡はするが安定性が低く、起泡ができたそばから消えるため、泡を作ることすらできなかった。



図10. 実験Ⅲ-3のメタノールにおける泡

メタノールは比較的安定性が高く、泡を作ることにはできた (図10) が、硬化はできなかった。

〈考察〉界面活性剤や有機溶媒の種類によって、振る舞いが大きく異なることから、組み合わせによってはこの方法で泡ができるのではないかと考える。

6. 結論

実験Ⅲの結果及び一般的にプラスチックが高い耐久性を持っていることを考えると、プラスチック

の泡の作製さえ可能になれば、メラには十分な実現可能性があるということを示すことができたと考えられる。

しかし、プラスチックの泡を作るためには高度な設備が必要であることが予測される。その費用などを考えると、さらに研究を進めて、実験Ⅲのように小規模な方法で泡の作製に成功し、より高い実現可能性を示しておく必要があると考える。

7. おわりに

今後のこの分野の発展のために、この研究の内容をSNSを用いて発信しようと考えている。これにより、研究に携わる者が魔法の実現という新しい分野に興味を持つことが期待される。それに加えて、この研究のキャッチーさゆえに一般の小中学生などが「研究」というものに興味を持つきっかけとなりうるため、この分野、ひいては科学全体の発展につながることも期待できるだろう。

8. 謝辞

本校教諭の岡田和彦先生、石田延広先生、向江達也先生、本校サイエンスアドバイザーの皆様には本研究についてご指導頂いたことに深く感謝の意を表します。

〔参考文献・参考URL〕

- [1] でんじろう先生 [公式], 「【実験106】 炎の魔法使い/燃える泡/ 米村でんじろう [公式] - Youtube」, 2016.
<https://www.youtube.com/watch?v=Q8Z9m-0UtN0>
- [2] 小野 祐資, 大歳 幸男, 「フッ素系界面活性剤」, 油化学, 1985, 34巻12号 p1035.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jos1956/34/12/34_12_1035/_article/-char/ja
- [3] Charles M. Hansen, 「HANSEN SOLUBILITY PARAMETERS A User's Handbook Second Edition」, CRC Press, 2007.
<https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=54e77596d685ccc40a8b45a1&assetKey=AS:273708806017053@1442268672663>
- [4] 小山内 州一, 「泡の科学」, オレオサイエンス, 2001, 1巻8号, p863.
https://www.jstage.jst.go.jp/article/oleoscience/1/8/1_863/_pdf
- [5] 大商化成 (株), 「溶剤の性状表」, 2013.
http://daishokasei.co.jp/goods/youzaieki_jyo5.pdf