炎色反応を利用したカラフルキャンドルを廃油を用いて作成する

田辺誠

要旨

本研究では廃油(MCT オイルやココナッツオイル)を燃料としたキャンドルにおいて炎色反応を観察可能にする条件を検討した。金属塩を油脂に混合する方法および芯に担持させる方法を比較したが、いずれも明瞭な炎色は観察されなかった。そこで燃焼条件を検討するため、芯の太さや酸素供給構造を変更したが、炎は主に黄色を呈した。さらに外部から銅イオンを炎に導入したところ緑色発光が確認された。この結果より、MCT オイル炎では金属発光が生じないのではなく、燃焼時に生成する炭素微粒子の炭化発光が優勢であるため炎色が視認しにくいことが明らかになった。

キーワード：炎色反応・油脂・完全燃焼・炭化発光

Ⅰ. はじめに

〈炎色反応の仕組み〉

ある種の金属塩（主にアルカリ 金属やアルカリ土類金属）やほう酸を炎の中に入れて強く熱すると、気化して生じた原子の電子が熱エネルギーを吸収して高いエネルギー状態に励起する。励起状態は不安定なので、励起された電子はしばらくしてもとの基底状態に戻る。この電子が低いエネルギー状態に移るときに、二つの状態の間のエネルギー差に相当するエネルギーを光として出す。この光の波長が可視領域にある時、固有の波長炎に金属固有の色がついて見えることを一般的に炎色反応と言う。それを利用して油脂から炎色反応を利用したカラフルキャンドルを作成したい。

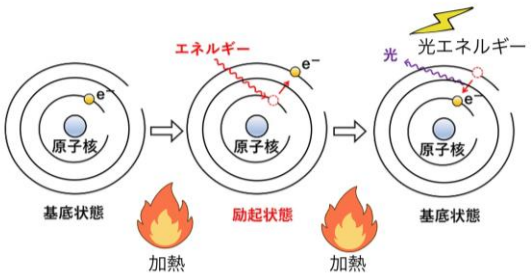


図 1:炎色反応のしくみ

（出典：note「星が光る、炎が光る、流れ星が流れる」を一部改変）

また、金属塩等を溶解させたメタノールにステアリン酸を混ぜることで炎色反応がおこる固形燃料ができることがわかっている(小芝,2004)。

しかし一般的に油脂は水素の割合に対して、炭素の割合が大きいので、不完全燃焼を起こす。そして炎が黄色に支配されるため、炎色反応は観察できない（石川,不明)。そこで炭素数の少ないココナッツオイルや MCT オイルならば不完全燃焼が少なく炎色反応が観察しやすいと考えた。

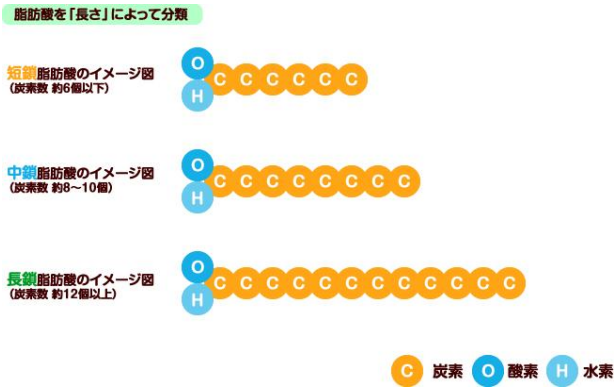


図 2:油脂を構成する脂肪酸のイメージ

本研究の目的は、廃油(ココナッツオイルやMCT オイル)を燃料としたキャンドルにおいて炎色反応を観察可能にする条件を検討し、炎色が視認できない原因を燃焼機構の観点から明らかにすることである。

Ⅱ. 手法

金属塩を油脂に溶かした場合と芯に担持した場合、外部から導入した場合の 3 種類に分けて実験を行った。

〈試薬〉

- メタノール(ヨツハタ化学工業株式会社)
- MCT オイル（勝山ネクステージ）
- ココナッツオイル(足立醸造)
- 凝固剤（ジョンソン株式会社固めるテンプル）
- 塩化カリウム（関東化学株式会社）
- 塩化銅Ⅱ(和光純薬工業株式会社 036-04145)
- 塩化バリウム二水和物（昭和化学株式会社 0201-9250）
- 塩化リチウム(昭和化学株式会社 1214-1250)
- ほう酸(純正化学株式会社 69025-1201)

〈実験 1〉　油脂に金属塩を溶解させる

油脂は有機化合物であり、金属イオンはほぼ溶けないので、有機化合物に溶け、金属塩も溶かすことのできるメタノールに溶かし、高吸水性ポリマーで吸水し乾燥させ、油脂に混ぜ合わせた。

1. 300m L ビーカーでメタノールに塩化カリウム・塩化銅Ⅱ・塩化バリウム・塩化リチウムを溶かし、それぞれメタノール溶液を調製した（図 3 ）。



図 3 :金属塩のメタノール溶液

2. それぞれのメタノール溶液に高吸水性ポリマー10g を加えて溶液を吸収させた（図 4 ）。



図 4 :ポリマーを加えた様子

3. それぞれのポリマーを乾燥機で 50℃・3 日間乾燥させた。（図 5 ）

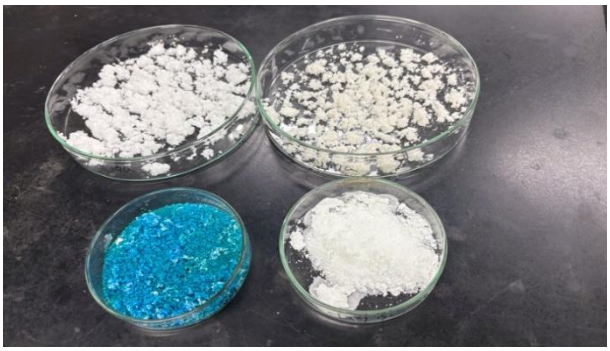


図 5 :ポリマーを乾燥させた様子

4. 乾燥した高吸水性ポリマーを乳鉢で粉末状になるまですりつぶした。（図 6 ）

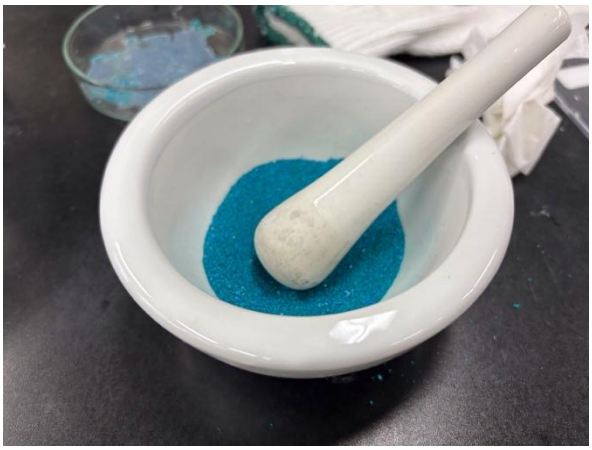


図 6 :塩化銅Ⅱを含んだポリマーをすりつぶした様子

5. 蒸発皿にココナッツオイルと加熱して溶かしたろう 5.0ml にそれぞれ乾燥させた高吸水性ポリマーを 1.00g 加え、ココナッツオイルは過熱後凝固剤を用いて固めた。（図 7 ）



図 7 :ココナッツオイルにポリマーを溶かした様子

6. 続いてポリエステル紐を爪楊枝で仮固定し、冷やしてキャンドルを成型した。(図 8)



図 8:整形したキャンドル

7. 最後に火をつけて炎の色を観察した。

【共通】実験 2～4 芯に金属塩を染み込ませる

1. 100mＬのビーカーに 10mＬのメタノールにほう酸 0.245g、塩化銅を 0.395g 加え、0.4mol/Ｌの溶液を作成した。
2. 3.0cm の綿芯を 2 本ずつそれぞれの溶液に浸した。(図 9)

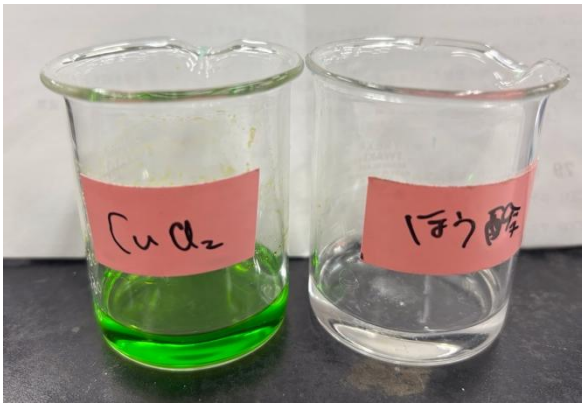


図 9:金属塩のメタノール溶液

3. 十分に浸したら綿芯を溶液から出し、1 日自然乾燥させた。

〈実験 2〉根元に穴を開ける

完全燃焼に近づけるために芯への酸素供給を増やすため、芯の根元に複数の穴をあけた。

1. 6 枚の蒸発皿にそれぞれ①～⑥の番号を振った。MCT オイル 5.0mＬ入れ、ガスバーナーで加熱した。
2. 凝固剤 0.15g を加え、①と④に塩化銅が、②と⑤にほう酸が溶けた綿芯を③と⑥になにも処置していない綿芯を爪楊枝で仮固定した。
3. 冷やしてキャンドルを整形し、①～③は芯の根元に 10 回穴をあけた。(図 10)

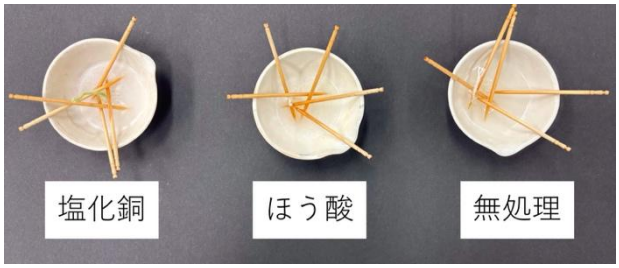


図 10:蒸発皿④～⑥の穴あけの様子

4. 芯の長さを 5mm に切断した。
5. 最後に火をつけて炎の色を観察した。

表 1:蒸発皿の番号とその状態

①	②	③	④	⑤	⑥
塩化銅Ⅱ	ほう酸	無処理	塩化銅Ⅱ	ほう酸	無処理
穴なし	穴なし	穴なし	穴あり	穴あり	穴あり

〈実験 3〉アルミカップに穴をあける

炎に対して安定的に酸素を供給するためにアルミカップの側面から酸素供給用の穴を作成した。

1. 4 枚のアルミカップにそれぞれ①～④の番号を振った。ガスバーナーで加熱した MCT オイル 5.0mＬ入れた。
2. 凝固剤 0.15g を加え、①に塩化銅が、②にほう酸が溶けた綿芯を③と④になにも処置していない綿芯を爪楊枝で仮固定した。
3. 冷やしてキャンドルを整形し、①～③はアルミカップの側面に 9 個穴をあけた。④は 6 個穴をあけた。(図 11)



図 11:アルミカップの穴あけ

4. 芯の長さを 5mm に切断した。
5. 最後に火をつけて炎の色を観察した。

表 2:アルミカップの番号とその状態

①	②	③	④
塩化銅(Ⅱ)	ほう酸	無処理	無処理
穴 9	穴 9	穴 9	穴 6

〈実験 4〉芯の長さ、太さと炎の色の関係

不完全燃焼を起こすには MCT オイルではなく、綿芯に原因があると仮説を立てた。そこで芯の長さに注目した。

1. 綿芯を 6.5mm と 10mm に切断する。また、それぞれ通常の太さと、ほどいて細くしたものを用意した。6.5mm の綿芯はほつれてしまうため、20mm 程度の芯の先端 1.5mm にペンで印をつけた。(図 12)

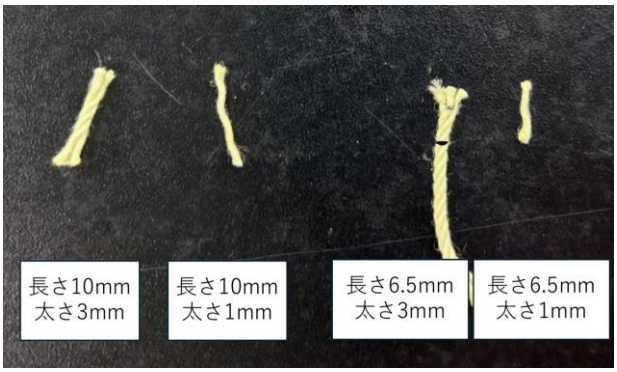


図 12:綿芯

2. 4 枚のアルミカップにそれぞれ①～④の番号を振った。ガスバーナーで加熱した MCT オイル 5.0mL 入れた。
3. 冷やしてキャンドルが固まり始めたら、綿芯をピンセットで刺し、固定した。
4. 最後に火をつけて炎の色を観察した。

〈実験 5〉ココナッツオイルの炎に金属塩を入れる

1. メタノールに塩化銅(Ⅱ)を溶かし、メタノール溶液を作成した。
2. 蒸発皿にココナッツオイルを入れ、無処理の綿芯を入れ、着火した。
3. ピンセットをメタノール溶液に浸し、炎に近づけた。

III. 結果

〈実験 1〉 油脂に金属塩を溶解させる

すべての金属イオン・溶媒で炎色反応が観察されなかった。(図 13)



図 13:金属塩を油脂に溶解した結果

〈実験 2〉根元に穴を開ける

すべての金属イオン・溶媒で炎色反応が観察されなかった。(図 14)



図 14:金属塩担持芯の結果(上:穴あり、下:穴なし)

一度燃焼が始まると炎の周辺の MCT オイルは液化するので、根元にあけた穴は意味がなかった。

また、条件①の塩化銅穴なしでは青色の炎が観察された。(図 15)



図 15:青い炎

〈実験 3〉アルミカップに穴をあける

すべての金属イオン・溶媒で炎色反応が観察されなかった。(図 16)



図 16:塩化銅担持芯(穴あり)

〈実験 4〉芯の長さ、太さと炎の色の関係

炎色は橙赤色となり、炎色反応は観察されなかった。(図 17)

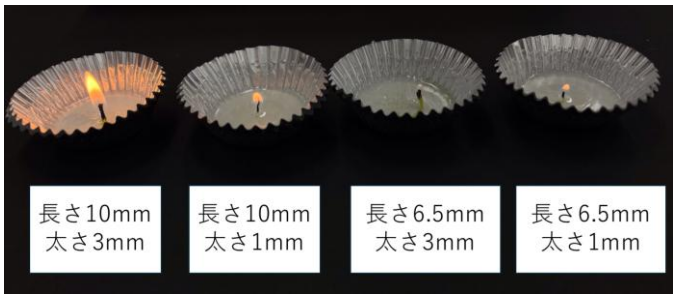


図 17:塩化銅担持芯(長さ・太さ別)

〈実験 5〉ココナッツオイルの炎に金属塩を入れる

MCT オイル炎に対して塩化銅メタノール溶液を付着させたピンセットを近づけたところ、炎の一部に明確な緑色発光が観察された。(図 18)



図 18:塩化銅 II を外部から導入した結果

IV. 考察

実験 1 では金属塩を含ませた高吸水性ポリマーを油脂に混合したが炎色は観察されなかった。これは金属イオンが油脂中に均一に分散せず、燃焼域へ十分供給されなかったためと考えられる。

実験 2〜4 では芯担持法により炎色の発現を試みた。芯の太さや長さを変更し、酸素供給構造を改善した結果、炎は小さくなり青色部分も観察されたが、銅特有の緑色発光は明瞭ではなかった。これは金属塩が十分に気化しなかった可能性、あるいは MCT オイル燃焼に伴う炭化発光が優勢であった可能性が考えられる。

実験 5 において外部から銅イオンを炎に導入したところ局所的に緑色発光が確認された。したがって、MCT やココナッツオイル炎中でも金属発光は生じ得るが、通常の燃焼条件では炭化発光が支配的であり、炎色が視認しにくいことが示唆された。

V. 結論

本研究より、MCT オイルやココナッツオイルを燃料とするキャンドルでは炭化発光が優勢となり、金属イオンの炎色反応は理論上発生しているものの視認性が低いことが明らかとなった。芯構造や酸素供給を改善しても十分な炎色は得られなかったが、外部から金属イオンを導入することで発光が確認された。したがって廃油を用いた炎色キャンドルの実現には、燃焼の変更または燃焼機構の制御が重要である。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導、ご助言をいただいた市川高等学校小芝一臣先生に心から感謝申し上げます。

文　献

石川楓「炎色反応のロウソク」千葉県教育情報ネットワーク https://www2.chiba-c.ed.jp/

公益財団法人　日本科学協会.炎色反応を利用したろうそくの炎の着色
https://www.jss.or.jp/fukyu/mentor/data/27_01_ashitomi.pdf

小芝一臣（2004）興味・関心を持たせる理科総合A（化学）の演示実験「メタノールの燃焼を用いた炎色反応」.平成15・16年度高等学校教科研究員研究報告書.2004.p.1-6

富山県.プログラム2廃油でオリジナルキャンドルを作ろう
https://www.pref.toyama.jp/documents/14110/94p96fb83l8383839383h838b.pdf