

炎色反応の固形燃料より

生成した物質の定性分析

兵庫県立神戸高等学校 自然科学研究会化学班
一年 曾谷太一 渋谷英太郎 田原寛文
枡井啓貴 松本翔太

1. 研究動機

私たちは、青少年のための科学の祭典・西はりま会場大会 2009 に参加していた。そこで、子供たちに炎色反応の固形燃料を見せて、炎色反応の起こるしくみについて説明していた。そのうち、塩化銅(Ⅱ)を含む固形燃料を燃やしていると、茶色い球体が複数生成した(図1)。私たちは、この球体の成分は何で、どのようにしてできたのか、ということに興味を持った。そこで、これを機に、これについて定性分析をおこなうことにした。



図1 固形燃料の中にできた茶色い球体を取り出したところ

2. 炎色反応の固形燃料の作り方

(1) ステアリン酸、炎色反応を起こす塩類、メタノールを 1:1:20 の割合で用意する。(2) メタノールをビーカーに入れ、70℃のお湯で温めながらステアリン酸と炎色反応を起こす塩類を加え、数分間かき混ぜて溶かす。(3) それを半分に切ったスチール空き缶に注ぎ、冷やして固める。(アルミ缶を使うと、溶けて穴があくことがある)



図2 緑色の炎の固形燃料

3. 謎の球体の生成の様子

CuCl_2 を混ぜた銅の炎色反応（青緑色）をする固形燃料を、スチールの空き缶に入れ、一度火をつけた（図 3）。消火した後それを 24 時間置き、再び点火した。数分間隔で消化と点火を幾度か繰り返すと、液中に褐色の小さな球体が生成し、燃焼によってメタノールが減少するにつれて、球体が大きく成長した。何回か実験すると球体ができず、液が褐色になることがあった。



図 3 24 時間後に点火したところ



図 4 球体が成長したところ

4. 仮説とその検証の方法と結果

I. 仮説 — 褐色の物体は FeCl_3 ではないか

[根拠] 色が赤褐色であることから鉄（Ⅲ）であると考えた。つまり、溶液中の Cu^{2+} より鉄のほうがイオン化傾向が大きいため、鉄がとけて Fe^{2+} が生じ、さらに空気中も酸素で酸化して Fe^{3+} が生じたと考えた。

[検証方法] 水に溶かして、 AgNO_3 、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、 $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ で成分イオンを確かめる。 Cl^- があれば AgNO_3 で白色沈殿が生じ、 Fe^{2+} があれば $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ で濃青色沈殿を生じ、 Fe^{3+} があれば $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ で濃青色沈殿を生じるはずである。

[結果] この物質は、ほとんど水に溶けなかった。生成してすぐのものは、水に懸濁した。生成してから、一週間以上たったものは塊のまま水に溶けずに浮かんでいた（図 5）。また、加熱すると油状になり、水に浮いていた。しかし、成分が少しは溶けているかもしれないので、調べてみることにした（図 6）。



図 5 水に溶けなかった褐色の物質



図 6 加熱したときの様子

分析結果 1

	生成してすぐの物質の懸濁液	生成した物質の一週間後の水抽出液
ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム	変化なし	変化なし
ヘキサシアノ鉄(Ⅱ)酸カリウム	濃青色沈殿	変化なし
硝酸銀	わずかに白くにごる	わずかに白くにごる

〔考察〕 この球体は水に溶けにくい物質であり、水より密度が小さい。手触りは石鹸状であった。懸濁液の分析の結果から、 Fe^{3+} が含まれていることは間違いない。 Fe^{2+} はほとんど含まれていない。硝酸銀で白くなったのは、溶液中の Cl^- が固体表面に付着していたのだと思われる。

Ⅱ. 仮説 — ステアリン酸鉄(Ⅲ)ではないか

〔根拠〕 Cl^- がごくわずかしかないことと、水に溶けないことから、この物質は液中にあるステアリン酸と鉄(Ⅲ)イオンが化合したものであることが考えられる。

〔検証方法〕 希硝酸に溶かして、 AgNO_3 、 $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ 、 $\text{K}_2[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ で成分イオンを確かめる。

〔検証方法〕 火をつけて燃えるかどうかを確かめる。燃えれば、有機物のステアリン酸が燃えたと思われしか考えられない。

〔結果〕 この褐色の物質は、硝酸にもほとんど溶けなかった。しかし、1 日放置しておくとき白色ロウ状になり、浮いていた。

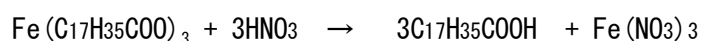
〔結果〕 火をつけると燃えた。

分析結果 2

	生成した物質の希硝酸抽出液数分後	一週間後の生成した物質の水抽出液
ヘキサシアノ鉄(Ⅲ)酸カリウム	変化なし	変化なし
ヘキサシアノ鉄(Ⅱ)酸カリウム	わずかに濃青色	濃青色の沈殿
硝酸銀	わずかに白色沈殿	わずかに白色沈殿

〔考察〕

- ・ 一日放置した抽出液から濃青色の沈殿が見られたことから、 Fe^{3+} が含まれていることが、わかる。また、白色ロウ状の物質が見られたことや、火をつけると燃えたことから、ステアリン酸が含まれていることが考えられる。硝酸にすぐに溶けないのは、 Fe^{3+} とステアリン酸が化合してステアリン酸鉄(Ⅲ)になり、水に不溶の物質となっているからだと考えられる。
- ・ 一日放置している間に白色のロウ状となったのは、次の反応が起こり、ステアリン酸に戻るからだと考えられる。



5. 結論

炎色反応の固形燃料から見出した茶色の球体ができる仕組みは次のように考えられる

① スチール缶に CuCl_2 を含んだ固形燃料を入れ、一度点火すると、炎の熱により缶内面のプラスチックコーティングが燃え、はがれる。

② 鉄は銅よりイオン化傾向が大きいため

$\text{Fe} + \text{Cu}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Cu}$ の反応が起こり、 Fe^{2+} が生成する。この反応は速い反応であり、数分で起こる。

③ Fe^{2+} が空気中の酸素で酸化され、

$12\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOH} + 4\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}(\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COO})_3 + 8\text{H}^+ + 2\text{H}_2\text{O}$ の反応が起きる。

このとき、生成したステアリン酸鉄(Ⅲ)はメタノールに溶解している。

また、この反応はおそい反応であり、一日かかる。

④ 一日経過後、点火と消火を繰り返すと、メタノールが燃焼して徐々に減少する。

ステアリン酸鉄はメタノールに対する溶解度が小さく、燃焼によって

メタノールが減少した分、析出する。それが褐色の球体となる。

6. 課題と応用の可能性

● 課題

この実験を繰り返すと、茶色のできるときと、球体ができずに液全体が褐色になるときがあった。

(図7) なぜ、できたりできなかったりするのかわ、その仕組みを明らかにしたい。



● 今回発見した現象の応用の可能性

今回発見した球体の生成は、自己組織化の一種と思える。そうであれば、生物の組織形成の解明やナノテクノロジーなどの分野に応用できるのかもしれない。