

**固形燃料から生成した物質の  
定性分析およびその利用法の検討**

**兵庫県立神戸高等学校  
自然科学研究会化学班**

# 固形燃料から生成した物質の

## 定性分析および利用法の検討

兵庫県立神戸高等学校 自然科学会研究会 化学班

渋谷英太郎 曾谷太一 田原寛文

栢井啓貴 松本翔太

### 1. 研究の動機

私たちは、去年の夏に「青少年のための科学の祭典・西はりま会場大会 2009」で、子供たちに炎色反応を見もらうために、「炎色反応をする固形燃料」を製作した。固形燃料には炎色反応を示す物質として、塩化ナトリウム、塩化カリウム、塩化カルシウム、塩化ストロンチウム、塩化銅(Ⅱ)を用いた。そのうち、塩化銅(Ⅱ)を用いた固形燃料(図1)から、褐色の球体が複数生成した。

「この球体の成分は何か」「どのようにしてできるのか」「利用方法はあるのか」このような疑問を持った私たちは、この物質の定性分析を行い、利用法の検討をすることにした。

以降、褐色の球体のことを球体 A と記す。



(図1：塩化銅(Ⅱ)を用いて作製した固形燃料)

## 2. 研究の目的

生成した球体 A の成分および生成過程を明らかにし、その利用方法の検討をする。

## 3. 固形燃料の作製方法

ここで、球体 A が生成したときの固形燃料の作製方法について説明する。今回作製した固形燃料は、主にステアリン酸・メタノール・炎色反応を示す塩類を使用している。

[準備するもの]

ステアリン酸、メタノール、炎色反応を示す塩類、スチール缶（アルミ缶）  
金切バサミ、ニッパー

[作り方]

- ① スチール缶の上から半分ほどを金切バサミで切り取る。切り取ったところで手を切らないように、縦に切れ込みを少しいれ、ニッパーなどで内側に折り曲げる。
- ② (ステアリン酸) : (炎色反応を示す塩類) : (メタノール) = 1 : 1 : 20 の割合で計りとり、ビーカーに入れる。
- ③ それを 70℃前後で湯煎し、ステアリン酸と炎色反応を示す塩類がメタノールに溶けるまで行う。
- ④ ③で作ったものを、①で作ったスチール缶に入れ自然に冷ます。



(図 2 : 銅の炎色反応を示している)

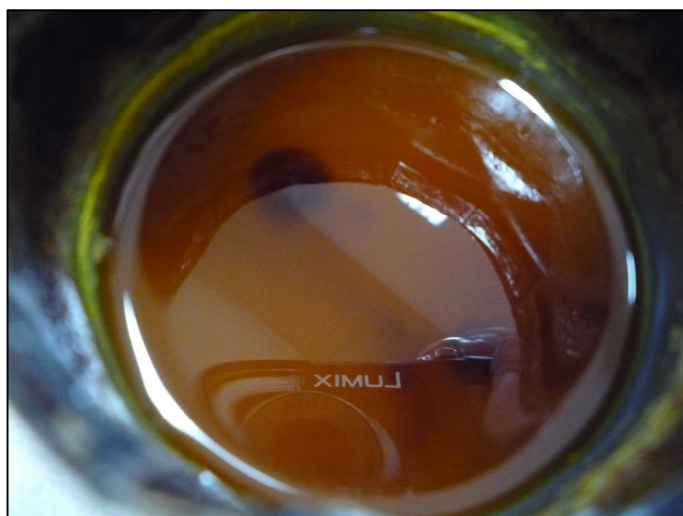
- スチール缶の代わりにアルミ缶を用いてもよい。しかし、塩化銅(Ⅱ)などはアルミ缶を溶かして穴を開けてしまうためスチール缶を用いるほうが良い。
- スチール缶を加工するときは軍手を着用する。
- 球体 A が生成したのは、塩化銅(Ⅱ)を用いて固形燃料を製作したときのみだった。

#### 4. 球体 A の生成の様子

3. で作った塩化銅(Ⅱ)を含む固形燃料(スチール缶を用いた)に一度火をつけた。消火したのち、24 時間置き、再度点火し、数分間隔で消火と点火を繰り返した。すると、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、その球体が大きく成長した。しかし、何回か実験すると球体ができずに液自体が褐色になることがあった。



(図 3 : 点火、消火を数回行ったときの様子)



(図 4 : 図 3 からさらに点火、消火を行った時の様子。球体ができ始めている)



(図5：図4からさらに点火、消火を行ったときの様子。固形物が確認できる)

## 5. 球体 A の特徴

色は茶褐色をしており(図6)、手触りは石鹼状である。また水には溶けない。球状になるとは限らず、底に張り付くように生成したり、半球状に生成したりする(図5)こともある。



(図6：茶褐色をしており、手触りは石鹼状。)

## 6. 仮説とその検証および結果

### 仮説 I —球体 A は塩化鉄(Ⅲ)ではないか

#### [根拠]

色が赤褐色であり、またスチール缶を用いていることから  $\text{Fe}^{3+}$  が球体 A に含まれていると考えた。つまり、メタノールの燃焼により、缶の内側のコーティングがはがれて、スチール缶の Fe がむき出しの状態になり、そしてその Fe は  $\text{Cu}^{2+}$  と電子の交換により、 $\text{Fe}^{2+}$  となる。さらに、空気中の  $\text{O}_2$  によって、 $\text{Fe}^{3+}$  が生成したと考えた。また、固形燃料には塩化銅(Ⅱ)を用いているため、 $\text{Fe}^{3+}$  と  $\text{Cl}^-$  が化合し塩化鉄(Ⅲ)となったのではないかと考えた。

#### [検証]

水に溶かして、ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム、ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム、硝酸銀で成分イオンを確かめる。 $\text{Fe}^{2+}$  があればヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムで濃青色沈殿を生じ、 $\text{Fe}^{3+}$  があればヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムで濃青色沈殿を生じ、 $\text{Cl}^-$  があれば硝酸銀で白色沈殿が生じるはずである。

#### [結果]

球体 A 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。また、加熱すると油状になり、水に浮いていた。しかし、成分が溶けだしている可能性もあるので成分イオンを確かめた。

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
硝酸銀	わずかに白くにごる	わずかに白くにごる
ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム	変化なし	変化なし
ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム	濃青色沈殿	変化なし

#### [考察]

塩化鉄(Ⅲ)は本来水に可溶である。しかし球体 A は水に溶けなかった。またヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムでは沈殿が見られなかったことから、 $\text{Fe}^{2+}$  はほとんど含まれていない。さらに硝酸銀でもすこしの沈殿しか見られなかったことから、球体 A は  $\text{Cl}^-$  を含んでいるとは考えにくい。沈殿は球体 A の表面に付着していた  $\text{Cl}^-$  が反応して

いたものと考えられる。また、生成してすぐのものと生成して一週間たったものの結果に差が生まれたのは、一週間置くことにより完全に乾燥したため成分が溶けださなかったためだと思われる。以上より、球体 A は塩化鉄(Ⅲ)ではない。

## 仮説Ⅱ ー球体 A は ステアリン酸鉄(Ⅲ) ではないか

### [根拠]

仮説Ⅰの結果より球体 A には $Fe^{3+}$ は含まれている。また手触りが石鹸状であることと、水に溶けないことから球体 A はステアリン酸を含んでいると考えた。ステアリン酸は石鹸の主成分であり、また水には溶けない。よって、 $Fe^{3+}$ とステアリン酸が化合してステアリン酸鉄(Ⅲ)になったのではないかと考えた。

### [検証]

- ①水に不溶なので濃塩酸に溶かして、ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム、ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム、硝酸銀で成分イオンを確かめる。 $Fe^{2+}$ があればヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムで濃青色沈殿を生じる。また、 $Fe^{3+}$ があればヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムで濃青色沈殿を生じ、 $Cl^-$ があれば硝酸銀で白色沈殿が生じるはずである。
- ②有機物であるステアリン酸の存在を確かめるため、可燃かどうか調べる。
- ③球体 A を希硝酸に溶かす

### [結果]

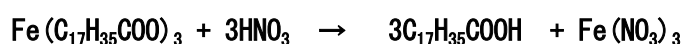
- ①結果は次のようになった。

分析結果 2	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抽出液
硝酸銀	わずかに白色沈殿	わずかに白色沈殿
ヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウム	変化なし	変化なし
ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウム	わずかに濃青色	濃青色の沈殿

- ②球体 A を火に入れると燃えた。
- ③1 日放置しておくとも白色のロウ状になり、浮いていた。

[考察]

- ①やはりヘキサシアニド鉄(Ⅲ)酸カリウムでは沈殿が見られず、ヘキサシアニド鉄(Ⅱ)酸カリウムでは沈殿が見られた。よって球体 A には  $\text{Fe}^{2+}$  ではなく  $\text{Fe}^{3+}$  が含まれている。
- ②結果よりステアリン酸が含まれていることが支持される。
- ③一日放置している間に白色の口状となったのは、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。



以上より球体 A はステアリン酸鉄(Ⅲ)であろうと考えられる。



(図 7: 実験中の様子)

## 7. 純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)との比較

これまでの研究から、球体 A はステアリン酸鉄(Ⅲ)であろうということが分かった。次に、球体 A がステアリン酸鉄(Ⅲ)だということを実証するため、純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)と球体 A との融点の比較および混融試験を行うことにした。

[検証]

ステアリン酸鉄(Ⅲ)は安価のものは市販されていないので、自分達でステアリン酸鉄(Ⅲ)を合成した。次に、そのステアリン酸鉄(Ⅲ)と球体 A [ステアリン酸(Ⅲ)と思われるもの]の融点を比較した。さらに、両者を混合して融点の変化があるか調べた。

[準備]

純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)は、塩化銅(Ⅱ)ではなく塩化鉄(Ⅲ)を使用した固形燃料の点火・消火を繰り返して合成する。こうして生成した固体は純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)であるはずである。



### [結果]

結果は次のようになった。

分析結果 3	合成したステアリン酸鉄(Ⅲ)	球体 A
融点	58.5°C	58.5°C
融け終わり	60.4°C	76.5°C

### [考察]

結果の表より、合成したステアリン酸鉄(Ⅲ)と球体 A は融点は、ほぼ同じであった。また、混融試験の結果も、混合物の融点はほぼ同じであった。これらの結果から両者は同じ物質だと実証された。球体 A の溶け始めから溶け終わりの温度に差があるのは、不純物が少しあるためだと考えられる。文献 3)によれば、融点が 61-92°Cとあり、これからもステアリン酸鉄(Ⅲ)であることに間違いはないと考えられる。

## 8. 球体 A の生成方法の検証

球体 A がどのような過程を経て生成されるのかを検証する。

### [仮説]

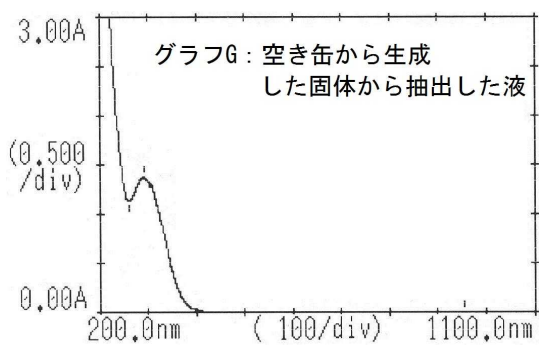
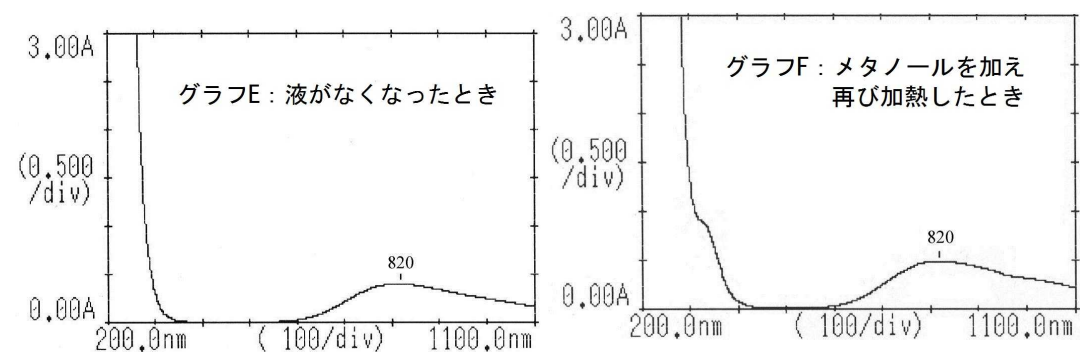
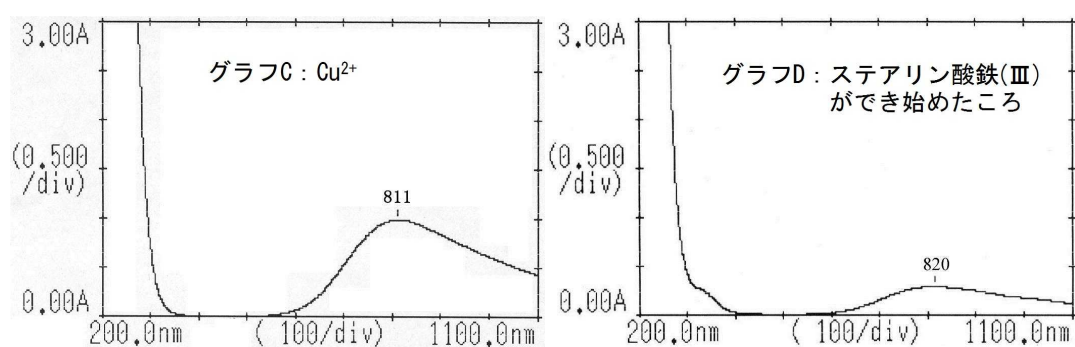
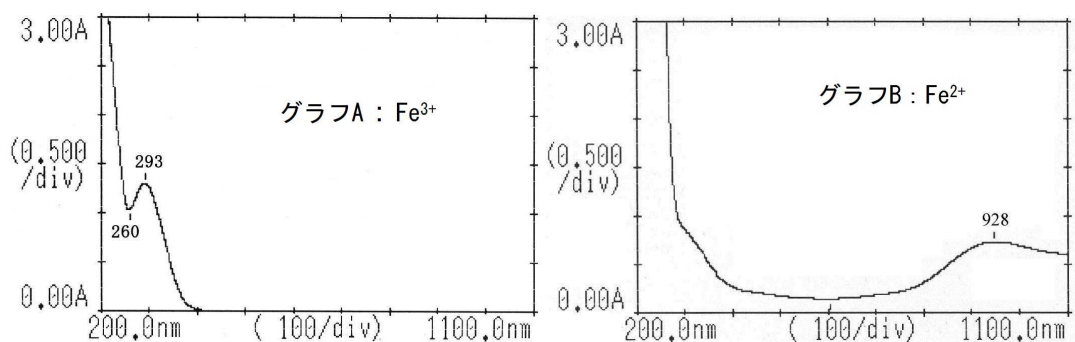
球体 A の反応経路は次のようになると考えた。

- ① スチール缶に  $\text{CuCl}_2$  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、 $\text{Fe}^{2+}$  が生成する。この反応は速い反応であり、数分で起こる。
- ③  $\text{Fe}^{2+}$  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。メタノールが減少した分、溶解しきれなくなったステアリン酸鉄(Ⅲ)が析出する。それが褐色の球体となる。

### [検証]

$\text{Fe}^{2+}$ ・ $\text{Fe}^{3+}$ ・ $\text{Cu}^{2+}$  のそれぞれのスペクトルをあらかじめ計測しておく。そして、固形燃料の点火、消火した後に、上澄み液を採取して塩酸と純水を加え、ろ過する。この作業を何度か繰り返す。それぞれのスペクトルを計測し、あらかじめ計測しておいた結果と比較する。また、メタノールがなくなった場合には、最初に作った量と同じ(今回は 100mL)になるように加える。

[結果]



#### [考察]

グラフ A は  $\text{Fe}^{3+}$  のスペクトルの結果である。250nm~300nm にかけて特徴的な「波」のようなグラフを描いている。

グラフ B は  $\text{Fe}^{2+}$  のスペクトルの結果である。250nm~400nm にかけて特徴的な「段差」のあるグラフを描いている。また 928nm のところにピークがある。

グラフ C は  $\text{Cu}^{2+}$  のスペクトルの結果である。811nm にピークが見られる。

グラフ D は固形燃料の入ったスチール缶の内部にステアリン酸鉄(Ⅲ)がはじめて確認されたときのスペクトルである。グラフ D の 250nm~400nm にかけて「段差」のあるグラフが描かれており、グラフ B ( $\text{Fe}^{2+}$  のスペクトル) のグラフと類似している。よって固形燃料を燃やすことによってスチール缶から  $\text{Fe}^{2+}$  が溶け出していることがわかる。

グラフ E はスチール缶内にメタノールがなくなったときの上澄み液である。このグラフ E にはグラフ A ( $\text{Fe}^{3+}$  のスペクトル) やグラフ B ( $\text{Fe}^{2+}$  のスペクトル) にみられるような特徴的なグラフが描かれていない。

グラフ F はスチール缶内にメタノールがなくなった後(グラフ E の状態)、100mL のメタノールを加えたものに点火したあと消火し、そしてその上澄み液のスペクトルである。グラフ F には 250nm~400nm にかけて「段差」のあるグラフが描かれており、グラフ B ( $\text{Fe}^{2+}$  のスペクトル) のグラフと類似している。よって、グラフ E、グラフ F の結果より固形燃料を燃やすことにより、「継続的」に  $\text{Fe}^{2+}$  が溶け出していることが分かる。

またグラフ D、グラフ E、グラフ F (どれも上澄み液) に  $\text{Fe}^{3+}$  が含まれていないが、グラフ G (スチール缶内に生成したステアリン酸鉄(Ⅲ)の抽出液)には 250nm~300nm にかけて特徴的な「波」のようなグラフが描かれており、グラフ A ( $\text{Fe}^{3+}$  のスペクトル) のグラフと類似している。

以上の結果から、燃焼中に断続的にスチール缶から溶け出した  $\text{Fe}^{2+}$  は、徐々に  $\text{Fe}^{3+}$  になり、メタノールの減少に伴ってステアリン酸鉄(Ⅲ)として析出しているという仮説が正しいといえる。

## 9. ステアリン酸鉄(Ⅲ)の作成方法

### ① 「6. 純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)との比較」において使った方法

I - 塩化鉄(Ⅲ) : ステアリン酸=1:6 で用意し、ビーカー等に入れる。

II - そこにメタノールをいれ、70°Cで湯煎する。

III - 溶けきったら、固まるまで冷ます。

IV - 固まったら点火し、自然に火が消えるまで待つ。

V - 自然に火が消え、再び冷めて固まると完成。

\* こちらの方法是固形燃料において球体 A (ステアリン酸鉄(Ⅲ)) が生成したときに近い方法である。

② メタノールを用いずに作る方法

I－塩化鉄(Ⅲ)：ステアリン酸=1:6 で用意し、ビーカー等に入れる。

II－それを 70℃で湯煎する。

III－溶けきったら、固まるまで冷ます。

IV－固まったら完成。

※こちらの方法は「ステアリン酸鉄(Ⅲ)の反応経路」を基に考えた。



(図 8:①で作ったステアリン酸鉄(Ⅲ))

## 10. ステアリン酸鉄(Ⅲ)の抗細菌作用

岡山県立岡山一宮高等学校の SSH 課題研究報告書によると、 $\text{Fe}^{3+}$ には抗菌効果があることが報告されている。ステアリン酸鉄(Ⅲ)は  $\text{Fe}^{3+}$ を含んでいるため抗細菌作用があるのではないかと考え実験を行った。

### [方法]

ステアリン酸、※メタノールを用いて作ったステアリン酸鉄(Ⅲ)、※メタノールを用いずに作ったステアリン酸鉄(Ⅲ)の粉末をふるいにかけて、粒の大きさを 0.149mm～0.297mm にふるいを用いてそろえて試料とする。

大腸菌をコロニーから1つとりLB培地 3000  $\mu\text{L}$ に溶かし、ボルテックスにかける。それを 20 時間恒温器に入れ 37℃で培養する。そこから 10  $\mu\text{L}$ とってLB培地 3000  $\mu\text{L}$ に溶かす。そこに試料をいれ、十分にボルテックスにかける。

20 時間恒温器のなかでシェイカーにのせて培養する。それを 1/100 希釈を 3 回(「培養し終わったものから 1  $\mu\text{L}$ とり、LB培地で 100  $\mu\text{L}$ にする」を 3 回)行い 100 万倍に希釈する。それを培地にまき、恒温器で 20 時間培養する。これを、それぞれ 3 枚作る。また試料を水で抽出し、pH を測定する。これは pH が大腸菌の増殖に影響を与えるためである。

大腸菌が増殖しすぎて数えにくかったので次の方法で計測することにした。

大腸菌のみのコロニー数を計測するとき 5mm 角で格子を描くと、各格子にコロニーが平均して 10 個あった。そこで各シャーレについて、大腸菌が格子を占める面積の

割合が8割以上をコロニー数が10個、3割から7割をコロニー数が5個、2割以下をコロニー数が0個として計算し、3つの平均をとった。またステアリン酸とステアリン酸鉄(Ⅲ)は3枚のシャーレのうちコロニーがある程度判別できたシャーレ1つを選び、それを数えた。

※ 作成方法は9による

[結果]

抽出水溶液の pH

	A	B	C	D
pH	6.4	6.3	3.6	6.2

※ Aは大腸菌のみ、Bはステリン酸、Cはステアリン酸鉄(Ⅲ)(メタノールありで生成したもの)、Dはステアリン酸鉄(Ⅲ)(メタノールでなし生成したもの)

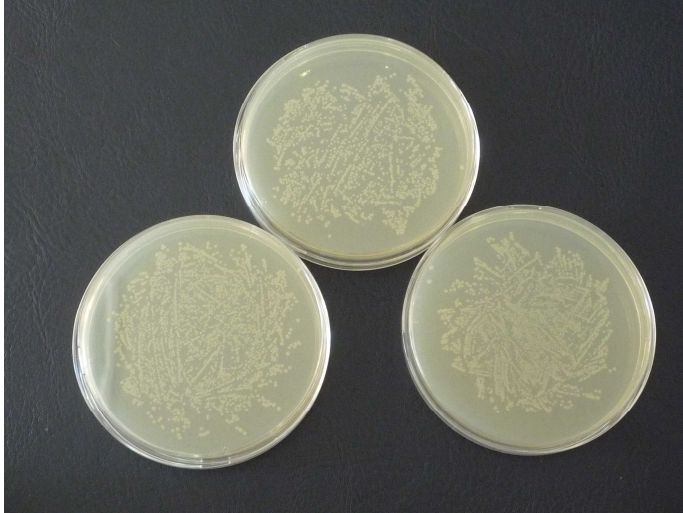
● コロニー数



(図9:大腸菌のみ) 約2300個



(図10:ステアリン酸)  
約996個



[図 11:ステアリン酸鉄(Ⅲ)]  
(メタノールなし)  
約 801 個

※ コロニー数の結果で、メタノールを用いて作ったステアリン酸鉄(Ⅲ)のものは非常にコロニー数が減少していた。それは、pHが3.6と他の3つにくらべて大きく酸性に傾いているので、大腸菌の増殖に影響をあたえてしまったため、ステアリン酸鉄(Ⅲ)の効果を実証できないと判断し、除外した。

#### [考察]

大腸菌のみ、ステアリン酸、ステアリン酸鉄(Ⅲ)(メタノールなし)の差から、ステアリン酸自体に抗細菌作用があることが分かる。またステアリン酸鉄(Ⅲ)(メタノールなし)のコロニー数がステアリン酸よりも2割ほどすくないことから、ある程度 $\text{Fe}^{3+}$ の抗細菌作用が働いていることがわかる。

つまり、ステアリン酸鉄(Ⅲ)は抗細菌作用があることが分かる。

## 11. 結論

- 銅の炎色反応する固形燃料から生成する球体は、成分の検出・確認からステアリン酸鉄(Ⅲ)と考えた。
- 純粋なステアリン酸鉄(Ⅲ)との混融実験の結果から球体Aはステアリン酸鉄(Ⅲ)と実証できた。
- ステアリン酸鉄(Ⅲ)には抗細菌作用があることが分かった。

## 12. 今後の研究課題

- 固形燃料のなかでステアリン酸鉄(Ⅲ)がなぜ球体になるのかが不明である。
- メタノールを用いて作ったステアリン酸鉄(Ⅲ)がなぜ酸性を示すのかが分かっていない。
- 大腸菌が思っていたよりも増えていて、正確にコロニー数を計測できなかった。
- 低融点で、油性のステアリン酸鉄(Ⅲ)のもつ抗細菌作用を何かのものに応用できないか今後検討したい。

## 13. 参考文献

- 1) 「理化学辞典」岩波書店
- 2) 「科学大辞典」東京化学同人
- 3) Harmon B. Abrahamson ,Henry C. Lukaski (1994)  
「Synthesis and characterization of iron stearate compounds」  
Science direct/  
[http://www.sciencedirect.com/science?\\_ob=ArticleURL&\\_udi=B6TGG-42SRDY7-7K&\\_user=10&\\_coverDate=05%2F01%2F1994&\\_rdoc=1&\\_fmt=high&\\_orig=search&\\_sort=d&\\_docanchor=&view=c&\\_searchStrId=1425939677&\\_rerunOrigin=google&\\_acct=C000050221&\\_version=1&\\_urlVersion=0&\\_userid=10&md5=af6926d5e7802185424daac27694aee1](http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleURL&_udi=B6TGG-42SRDY7-7K&_user=10&_coverDate=05%2F01%2F1994&_rdoc=1&_fmt=high&_orig=search&_sort=d&_docanchor=&view=c&_searchStrId=1425939677&_rerunOrigin=google&_acct=C000050221&_version=1&_urlVersion=0&_userid=10&md5=af6926d5e7802185424daac27694aee1)
- 4) 岡山県立岡山一宮高等学校 (2010) :  
「金属イオンの抗菌作用 銀イオン以外の金属イオンにも抗菌作用はあるのか」  
SSH 課題研究報告書/  
[https://ssh.jst.go.jp/ssh/research\\_detail.asp](https://ssh.jst.go.jp/ssh/research_detail.asp)

## 14. 謝辞

この研究をするにあたって、顧問の中澤克行先生には様々なご指導をいただきました。また、繁戸克彦先生、稲葉浩介先生には抗細菌作用の実験に関して大変お世話になりました。この場を借りてお礼を述べさせていただきます。ありがとうございます。