

# 二種類の金属塩を用いたホウ砂球反応 ～硫酸ニッケルと塩化鉄で特有の呈色がおこる理由の検討～

宮城県仙台第三高等学校 理数科

本研究では二種類の金属塩を用いてホウ砂球反応の実験を行った際、先行研究<sup>1)</sup>にて発見された法則に従わず特異な呈色が起こる金属塩の組み合わせについて研究した。同じ金属イオンを持つ試薬を組み合わせる実験し原因となる物質を探った結果、 $\text{NiSO}_4$ と $\text{FeCl}_3$ のホウ砂球反応の場合、 $\text{Fe}^{3+}$ と $\text{Cl}^-$ は関係せず、 $\text{SO}_4^{2-}$ の濃度が影響する可能性が示唆された。

## 1 背景

ホウ砂球反応とは、融解したホウ砂

( $\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ )に金属化合物を付着させるとホウ砂が各金属特有の色に着色される<sup>2)</sup>反応のことである。先行研究<sup>1)</sup>より2種類の金属塩を混ぜてホウ砂球反応を行った際に、生じた呈色がある法則に従うことが判明した。2種類の金属塩が混合する際はそれぞれの色が混ざった呈色をし、呈色の強さは濃度と金属塩の種類に依存する。我々は硫酸ニッケル( $\text{NiSO}_4$ )と塩化鉄( $\text{FeCl}_3$ )を用いたとき法則から外れた呈色することを発見した。

## 2 目的

$\text{NiSO}_4$ と $\text{FeCl}_3$ を用いたホウ砂球反応の呈色は、 $\text{NiSO}_4(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ 単体の灰色と $\text{FeCl}_3(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ 単体の無色の2色を混ぜた色とは異なり赤みのある呈色を示す。 $\text{NiSO}_4$ と $\text{FeCl}_3$ が特定の濃度の場合のみ法則から外れた呈色を示す原理を検討することを目的として研究を行った。

## 3 仮説

$\text{NiSO}_4(5.0 \times 10^{-2} \text{mol/L})$ 単体の灰色の呈色と $\text{NiSO}_4(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ と $\text{FeCl}_3(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ を混合した際の呈色(図1)が酷似していたため、 $\text{Fe}^{3+}$ または $\text{Cl}^-$ が $\text{Ni}^{2+}$ の濃度を下げたと考えた。

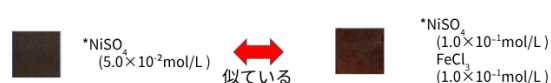


図1  $\text{NiSO}_4(5.0 \times 10^{-2} \text{mol/L})$ 単体の灰色の呈色(左)と $\text{NiSO}_4(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ と $\text{FeCl}_3(1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L})$ を混合した際の呈色(右)

## 4 実験方法

本研究で行う実験は先行研究を参考に、すべて以下の方法で行う。

- 1) ホウ砂 0.15g をスライドガラス(ソーダ石灰ガラス)の3点に置く。
- 2) マイクロピペットを用いてスライドガラス上のホウ砂に使用する溶液のうち $\text{NiSO}_4$ を $100 \mu\text{L}$ で固定し、もう一方を3点にそれぞれ $50 \mu\text{L}$ 、 $150 \mu\text{L}$ 、 $200 \mu\text{L}$ 滴下。
- 3) 電気炉で室温(約 $25^\circ\text{C}$ )からホウ砂の融点である $741^\circ\text{C}$ まで分けて温度を上げ $741^\circ\text{C}$ で1分加熱、その後分けて室温まで冷却。
- 4) 試料を十分に冷まして色を観察する。

## 5 実験 1

本反応における $\text{Cl}^-$ の影響を確認するため次の実験を行った。

### 1) 試料

- $\text{NiSO}_4$  水溶液( $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ )
- $\text{HCl}$  水溶液( $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ )
- ホウ砂

## 2)結果・考察

図 1 より HCl の濃度が変化しても各呈色に変化は見られなかった。さらに、図 2 の呈色が  $\text{NiSO}_4$  の灰色の呈色に酷似しているため、 $\text{Cl}^-$  は今回の研究対象の呈色に影響していないと考える。

	50 $\mu\text{L}$	100 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$
HCl			

図 2 実験 1 の結果

## 6 実験 2

本反応における  $\text{Fe}^{3+}$  の影響を確認するため次の実験を行った。

### 1)試料

- $\text{NiSO}_4$  水溶液( $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ )
- $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  水溶液( $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ )
- ホウ砂

## 2)結果

図 3 より、赤茶色の呈色がみられた。この原因について、使用した試薬の影響を考え、次の追加実験を行なった。




	50 $\mu\text{L}$	100 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$			

図 3 実験 2 の結果

### ・追加実験 1

使用溶液を  $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$  水溶液から  $\text{FeSO}_4$  水溶液に変え、同実験を行なった。結果は図 4 より、呈色が現れなかった。

	50 $\mu\text{L}$	100 $\mu\text{L}$	200 $\mu\text{L}$
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$			

図 4 追加実験 1 の結果

### ・追加実験 2

参考文献<sup>3)</sup>より、 $\text{FeSO}_4$  は高温下で酸化鉄へ変化することが判明しているため、実験環境で酸化鉄へ変化しないことを確かめる実験を行った。使用溶液を  $\text{FeSO}_4$  水溶液( $1.0 \times 10^{-1} \text{mol/L}$ )と  $\text{FeCl}_3$  水溶液に変え、硫酸を加えて実験を行った結果、図 5 より、実験環境では酸化鉄が生

成しないことが判明した。



$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	$\text{FeCl}_3$
	

図 5 追加実験 2 の結果

## 3)考察

酸化鉄の赤色が研究対象の呈色に影響を与えたと考察したが、追加実験 1, 2 より実験環境では酸化鉄が生成しないことが判明したため、呈色の原因は酸化鉄ではないと分かった。また、追加実験 1 より異なる種類の鉄化合物を加えても特異な呈色が発生しなかったため、 $\text{Fe}^{3+}$  は研究対象の呈色に影響を与えていないと考える。

## 7 結論

$\text{NiSO}_4$  と  $\text{FeCl}_3$  が特定の濃度の場合示す法則から外れた呈色に、 $\text{Fe}^{3+}$  と  $\text{Cl}^-$  は影響を与えていないことがわかった。よって、 $\text{Fe}^{3+}$  または  $\text{Cl}^-$  が  $\text{Ni}^{2+}$  の濃度を下げたという仮説は棄却された。

## 8 展望

以上の実験結果より、 $\text{SO}_4^{2-}$  の濃度が関係しているのではないかと考えられるので、 $\text{SO}_4^{2-}$  を含む物質を用いて濃度変化を含めた実験を行いたい。

## 参考文献

- 1) 仙台第三高等学校 12 班, 「ホウ砂球反応を用いた混色ガラスの作製」,  
[https://sengan.myswan.ed.jp/cabinets/cabinet\\_files/download/15714/f9d80f325468c7f39c2db0ebb7a6583f?frame\\_id=504](https://sengan.myswan.ed.jp/cabinets/cabinet_files/download/15714/f9d80f325468c7f39c2db0ebb7a6583f?frame_id=504) (2025 年 7 月 6 日閲覧)
- 2) 日本分析化学会, 「なるほど！化学実験 ホウ砂球反応」,  
<https://www.bunseki.ac.jp/naruhodo/experiment/pop.php?id=258> (2025 年 7 月 6 日閲覧)
- 3) 久保輝一郎, 谷口雅男, 白崎信一, 「硫酸鉄の熱分解における酸化鉄 ( $\text{FeSO}_4$ ) 粉末の生成反応」, 工業化学雑誌, 64(2), 256-261 (1959).

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/nikkashi1898/64/2/64\\_2\\_256/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/nikkashi1898/64/2/64_2_256/_pdf)(2025 年 7 月 6 日閲覧)