

スチールウールの燃焼

- スチールウールの酸化生成物の組成を考える -

前田 昭彦

中学校理科（第1分野「化学変化と原子、分子」，「物質と化学変化の利用」）や高等学校理科（化学「物質の変化」）において，金属の燃焼について学習する。特に，中学校では金属を燃焼させたときの質量変化について学習する際に，身近な素材としてスチールウールを用いる実験が教科書に紹介されている。しかし，スチールウールが燃焼して生成する物質は，その色（黒色）から Fe_3O_4 であると判断されていることが多い。ここではスチールウールの燃焼方法と燃焼後の酸化鉄の性質について検討することで，金属の燃焼における発展的な教材化への可能性を探った。

[キーワード] 中学校理科 高等学校理科化学

スチールウール 燃焼

はじめに

化学変化における質量の変化を考察する定比例の法則を学習する際，球体にしたスチールウールをガスバーナーで加熱する実験が紹介されている。

本稿では，スチールウールの燃焼実験において，スチールウールの形状・加熱時間・加熱器具等の燃焼条件の違いにより，鉄の酸化生成物の組成を類推することのできる教材化について検討した。

1 通常ガスバーナーでの検討

スチールウールを燃焼したときの酸化生成物は，その色，磁性，質量変化から， Fe_3O_4 （四酸化三鉄）であると判断されやすく，授業においても，教師側も生徒側も混乱する原因となっている。

ここでは，実験室にある通常ガスバーナーを用いたスチールウールの燃焼について検討する。

準備

スチールウール（日本スチールウール（株）ボンスターNo.000；図1），針金（銅線），鉄製スタンド，ガスバーナー（テクルバーナー），電子てんびん，セラミック板，アルミ皿，ピン

セット，アルニコ磁石，乳棒，乳鉢，試験管，試験管スタンド，ゴム栓，ゴム管，メスシリンダー（250 mL），1 mol/L 硫酸，水槽



図1 使用したスチールウール

方法

- (1) 1 g 程度のスチールウールを丸めて，表面をなめらかな球体に成形した後，電子てんびんで秤量する。
- (2) 方法(1)で成形したスチールウールを，スタンドに固定した針金に引っ掛け，空気を十分に送ったガスバーナーの外炎で1分間加熱した後，放冷する（図2）。
（本実験においては5分間，10分間，30分間加熱した場合についても，同様に実験した。）
- (3) 方法(2)の酸化生成物を10分間放冷した後，色を観察するとともに，質量を電子てんびんで秤量する（図3）。

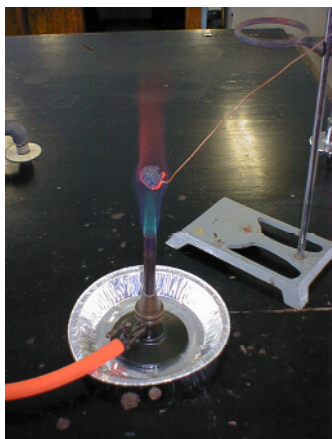


図2 スチールウールの燃焼

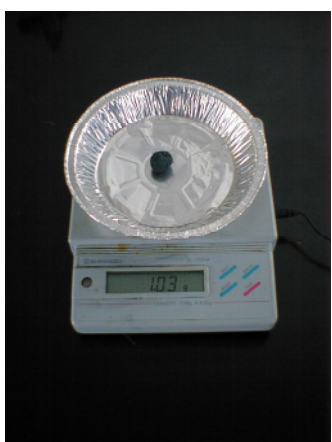


図3 酸化生成物の質量

- (4) 方法(2)の放冷後の酸化生成物に、磁石を上から垂直に近付け、磁石に引き付けられる距離を測定することで、磁性の強さを調べる(図4)。



図4 酸化生成物の磁性

- (5) 方法(2)の放冷後の酸化生成物を試験管の中に入れ、 1 mol/l 硫酸と反応させ、発生する水素をメスシリンダーで捕集し、水素の体積を測定し(図5)、未反応の鉄の質量を求める。

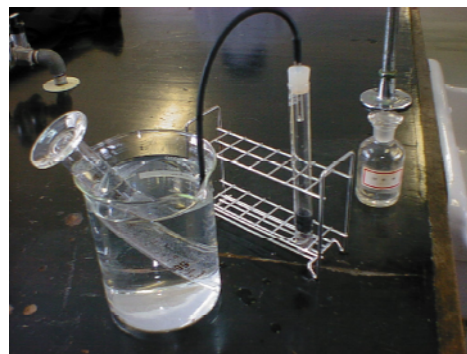


図5 水素発生の確認

- (6) 方法(2)の放冷後の酸化生成物を、乳鉢の中に入れ、よく擦りつぶし、その色を観察する(図6)。



図6 酸化生成物の擦りつぶし

- (7) 1 g 程度のスチールウールを手で広げて、表面積が大きくなるように成形した後、電子てんびんで秤量する。
- (8) 方法(7)で成形したスチールウールを、スタンドに固定した針金に引っ掛け、方法(2)と同様に加熱、放冷する(図7)。
- (本実験においては5分間、10分間、30分間加熱した場合についても、同様に実験した。)

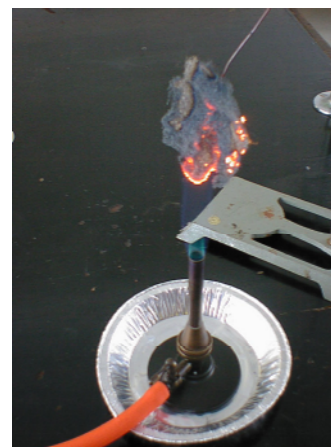


図7 スチールウールの燃焼

(9) 方法(8)の放冷後の酸化生成物を用いて、方法(3)～(6)と同様に実験する。

結果と考察

通常ガスバーナーを使用した場合、質量増加率と酸化生成物の性質については以下の表1、2のような結果となった。

表1 スチールウールの質量増加率

	Feの質量(g)	加熱時間(分)	酸化物の質量(g)	質量増加率
丸めて加熱	A 1.16	1	1.34	1.156
	B 1.12	5	1.29	1.156
	C 1.15	10	1.31	1.139
	D 1.09	30	1.27	1.161
広げて加熱	E 0.90	1	1.06	1.180
	F 0.94	5	1.15	1.222
	G 1.01	10	1.25	1.240
	H 0.98	30	1.24	1.263

表2 酸化生成物の性質

	Fe	磁性(mm)	H ₂ 発生量(ā)	残存鉄(%)	擦り色
丸めて加熱	A	4.0	140	26.1	黒
	B	3.9	144	27.9	黒
	C	3.9	122	23.3	黒茶
	D	3.5	138	27.1	こげ茶
広げて加熱	E	2.5	130	30.6	こげ茶
	F	2.5	140	30.4	ややこげ茶
	G	2.0	144	28.8	ややこげ茶
	H	2.0	124	25.0	やや赤茶

質量増加率は、丸めて加熱した場合（以下、形状A）で1.15～1.16、広げて加熱した場合（以下、形状B）は1.20～1.25となり、広げた形状で加熱時間が長いほど質量は増加した。

また、水素の発生量から未反応の鉄の質量を求め、反応した鉄だけの質量増加率で見ると、形状Aでは1.20～1.24、形状Bでは1.28～1.39となった。Fe₃O₄の理論値は1.38なので、形状

B Hではこの値とほぼ一致する。また、これら酸化生成物の色は黒色で、さらに磁性も強い（Fe₃O₄は強磁性）。

これらの結果は、酸化生成物がFe₃O₄であると判断されてきた根拠であると思われる。しかし、乳鉢で擦りつぶすと、質量増加率が大いほど、こげ茶～赤茶となることから、酸化が進むほど、その内部はFe₂O₃の割合が大いと思われる。

形状B Hの酸化生成物について、組成がFe、Fe₃O₄、Fe₂O₃だけで構成されているとした場合、計算値では、

Fe = 25%、Fe₃O₄ = 63%、Fe₂O₃ = 12%となった。

2 ガラス細工用ガスバーナーでの検討

ここでは、ガラス細工用ガスバーナーとマッフル炉を用いて、通常ガスバーナーのときよりも高温で放熱しにくい条件でのスチールウールの燃焼（形状Aのみ）について検討する。

準備

ガラス細工用ガスバーナー、マッフル炉、三角架、坩堝^{るつぼ}ばさみ、その他（「1 通常ガスバーナーでの検討」の準備）

方法

「1 通常ガスバーナーでの検討」の方法(1)～(6)に同じ。

「1 通常ガスバーナーでの検討」の方法(1)では、図8のような装置を組んだ。



図8 ガラス細工用バーナーとマッフル炉を用いたスチールウールの燃焼

結果と考察

ガラス細工用バーナーを使用した場合、質量増加率と酸化生成物の性質については以下の表3、4のような結果となった。

表3 スチールウールの質量増加率（ガラス細工用バーナー使用）

	Feの質量 (g)	加熱時間 (分)	酸化物の 質量(g)	質量増加率
丸 め て 加 熱	I 1.10	1	1.32	1.202
	J 1.12	5	1.40	1.250
	K 0.94	10	1.25	1.330
	L 1.02	30	1.38	1.353

表4 酸化生成物の性質

	Fe	磁 性 (mm)	H ₂ 発生量 ($\bar{a}$)	残存鉄 (%)	擦り色
丸 め て 加 熱	I	2.0以下	88	15.2	やや赤茶
	J	2.0以下	80	14.3	やや赤茶
	K	2.0以下	72	14.4	赤茶
	L	2.0以下	67	12.1	赤茶

質量増加率は、1.20～1.35となり、通常のガスバーナー使用時と同様、加熱時間が長いほど質量は増加した。

また、反応した鉄だけの質量増加率で見ると、1.24～1.42となった。 Fe_2O_3 の理論値は1.43なので、Lではこの値とほぼ一致する。これら酸化生成物の色はやはり黒色だが、磁性はあるものの通常のガスバーナー使用のときに比べると弱い（ Fe_2O_3 は反強磁性）。また、乳鉢で擦りつぶすと、やや赤茶～赤茶となった。

これらの質量増加率と擦りつぶした色等の結果から、高温で放熱しにくい条件でスチールウールを加熱したとき、酸化生成物を組成する多くの割合が Fe_2O_3 であることを推論することが可能であると思われる。

Lの酸化生成物について、組成がFe、 Fe_3O_4 、 Fe_2O_3 だけで構成されているとした場合、計算値では、

$$\text{Fe} = 12\%, \text{Fe}_3\text{O}_4 = 13\%, \text{Fe}_2\text{O}_3 = 75\%$$

となった。

なお、形状Bについて行わなかったのは、強熱により酸化生成物が広範囲に飛び散り、正確な測定値が得られないためである。

おわりに

スチールウールを用いた鉄の燃焼実験では、空気（酸素）を十分に送り高温をつくることができる加熱器具、放熱を防ぐためのマッフル炉などで組んだ実験装置で、ある程度の加熱時間（10分以上）の条件の下で行うことにより、教科書に記載されているように Fe_2O_3 ができていることを確認することができた。

しかし、酸素に触れた鉄の表層部から内層部の間の各層の割合については、酸化生成物は単一組成ではなく、酸化の条件によって違うため、極めて複雑である。

グーチルツボ法¹⁾による実験によると、X線解析の結果、酸化生成物の組成は、

$$\text{Fe} = 0\%, \text{Fe}_3\text{O}_4 = 14\%, \text{Fe}_2\text{O}_3 = 86\%$$

となり、酸化がよく進行していて単体のFeはほとんど残存しなく、内層部の90%以上が Fe_2O_3 であり、表層部に Fe_3O_4 が多いことが報告されている。また、鉄を加熱すると、鉄に触れた面から順に、FeO、 Fe_3O_4 の層ができ、さらに酸化すると、 Fe_3O_4 が $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ になり、さらに高温で熱すると $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に変わるという報告²⁾もある。

以上のことから、中学校・高等学校においては、定比例の法則で扱う教材としては理論値が明確でないことから難しいと思われるが、Feを高温で熱したり、長時間かけて酸化されるとき、 Fe_2O_3 になることを理解する教材としては十分利用できるものであると考える。

参考文献

- 1) 伊藤信良・田村仁 化学教育第33巻 スチールウールの酸化反応 pp.260-261 日本化学会 1985
- 2) 河村敏雄 金属の化学 pp.267-276 日本化学会 1964

（まえだ あきひこ 化学研究室長）