

中学校理科における鉄と硫黄の化合実験の教材開発

—有毒気体に対する安全性に配慮したマイクロスケール実験の活用—

柴辻 優俊・芝原 寛泰

(京都教育大学大学院生・京都教育大学)

Development of Teaching Materials of Combination Experiments with Iron and Sulfur for the Lower Secondary School

—Using Microscale Experiments for Consideration of Safety of Toxic Gases—

Yushun SHIBATSUJI and Hiroyasu SHIBAHARA

2014年11月30日受理

抄録：中学校理科で扱う鉄と硫黄の化合実験を対象に、個別実験を可能にするための実験操作の簡略化、及び安全性の確保を念頭においたマイクロスケール実験による教材開発を行った。本研究では反応の様子を観察しやすくするため反応容器にミニ試験管を、また実験操作を簡略にするため加熱器具として自作したミニアルコールランプを用いた。さらに生成物の確認実験において発生する硫化水素を安全に扱うために、気体検知器を用いた濃度測定を基に、適切な硫化鉄の使用量と塩酸の濃度を検討した。

開発した教材を用いて中学生を対象とした授業実践を行った。実験形態として2人1組の個別実験を導入し、実験後にグループ討論を行い、「化合物と混合物のちがひ」について考察させた。またグループで考えたことをホワイトボードに記述させグループ発表を行った。アンケート結果やホワイトボードの記述内容から、硫化水素の確認実験を含め、安全に実験を行うことが可能になり、さらに生徒一人ひとりが実感の伴った「化学変化」の理解をしていることが分かった。

キーワード：マイクロスケール実験、安全性、中学校理科、硫化水素、個別実験

I. はじめに

1. 研究の背景

平成20年度に改訂された中学校学習指導要領¹⁾において、「理科」の改訂の要点の1つとして「科学的な体験、自然体験の充実を図ること」があげられており、実験・観察活動を通して化学変化の不思議さや面白さなどの実感の伴った理解を図る重要性が指摘されている。また、「化合」の単元のねらい²⁾では、「2種類の物質を化合させる実験を行い、反応前とは異なる物質が生成することを見いださせること」と記述されており、実験の代表例として金属が酸素や硫黄と結びつく反応が紹介されている。現行の教科書³⁾では、「化合」の実験として鉄と硫黄がよく取り扱われる。鉄と硫黄を用いた化合実験では反応時に赤熱が起こり、反応前の物質と生成物のちがひを観察する。

鉄と硫黄の化合実験では、加熱時や生成物の確認実験の際に、有毒な二酸化硫黄や硫化水素の気体が発生するため、特に実験室内の換気などに注意して安全に行う必要がある。生徒が安全に実験を観察するために教師による演示実験の方法も考えられるが、一人ひとりの生徒が化学変化の様子を細部まで詳しく観察することや、硫化水素の危険性について実感の伴った理解を図ることが難しくなる。そこで、安全に一人ひとりが化学変化の様子を観察でき、かつ実感の伴った理解を図るための方法としてマイクロスケール実験に着目した。

マイクロスケール実験は GSC (グリーンサステナブルケミストリー) の理念を理科教育に反映させる実験方法の1つであり、特徴として、「実験器具のスケールを通常よりも小さくすること」、「試薬の少量化に伴った事故防止」、「1~2人の個別実験が可能でグループ実験と異なる学習効果が期待できること」などがあげられる^{4,5)}。本研究では硫化水素などの有毒な気体を扱う実験を行うため、特に、「試薬の少量化に伴った事故防止」に

着目し、実験中に発生する有毒な気体の発生をごく微量まで抑え、安全に実験を行うことができる方法を検討した^{6,7)}。さらに、実験の安全性を確保するために、実験器具のダウンサイジングや試薬量の削減を行うことが、実験操作の簡略化に伴う実験時間の短縮にもつながる。その結果、限られた授業時間内において、実験結果の検討や考察を行う時間も確保できる。例えば、4人グループで実験を行う場合、2人1組ずつに分けることによって実験後にそれぞれの実験結果を持ち寄り比較検討し、考察することも可能である^{8~10)}。このように実験器具のダウンサイジングや実験の個別化を図ることにより、様々な実験形態と授業展開を検討することができる。

2. 研究の目的

本研究では、中学校理科の「化合」の単元における鉄と硫黄の化合実験³⁾を例に、マイクロスケール実験による教材開発を目的とした。教材開発を行うにあたり、「試薬量の削減や実験操作の簡略化により、硫化水素の確認実験における安全性を確保すること」及び、「2人1組の個別実験の導入」を図ることを目標とした。また、開発した教材を用いて授業実践を行い、実験を通した「化合物」の理解に関するアンケート調査を実施した。

II. 教材開発

中学校理科の「化合」の単元における実験として、鉄と硫黄の化合実験を取り上げた。本研究では、2人1組で化合実験を体験できるように器具と操作の工夫を図った。

1. 鉄と硫黄の化合実験

2種類の物質を化合させる代表的な実験として「鉄と硫黄の化合実験」は、反応前後の物質の性質のちがいがから、反応前とは異なる物質が生成することを見出す実験²⁾である。

(1) 反応容器の検討及び加熱器具の作製

鉄と硫黄を反応させる反応容器として、加熱時における有毒な二酸化硫黄の拡散を最小限に抑えるためにミニ試験管(φ1.0×7.5 cm)を採用した。また、ミニ試験管を安定して固定するためにヒポークリップとビニル被覆銅線を用いて支持具を作製した(図1)。

次に試料を加熱するための器具としてアルコールランプの小型化を検討した。12セルプレートのセル(φ2.2 cm)に安定して固定するために、PP製のプッシュバイアル瓶(φ2.0×4.5 cm)を容器とし、レーヨン製のローブをガラス管に通し、穴をあけたプッシュバイアル瓶のふたに挿し込んで小型のアルコールランプ(以下：ミニアルコールランプと呼ぶ)を作製した(図2)。

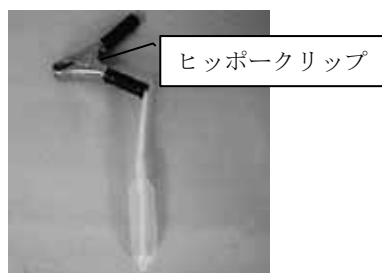


図1 支持具

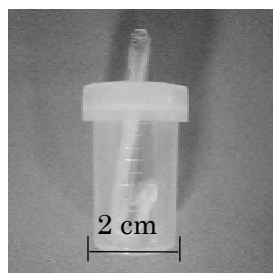


図2 ミニアルコールランプ

(2) 実験方法

丸めたスチールウールを0.05 g量り取り、反応容器のミニ試験管に入れる。同様に硫黄粉末を0.03 g量り取って入れる。尚、表面が錆びて酸化されたスチールウールでは化合反応が起こらないため、新しいスチールウールを使う。次に、加熱時における二酸化硫黄の拡散を防ぐため、ミニ試験管の開口部を脱脂綿で栓をする。このミニ試験管を図1の支持具で挟み、12セルプレート上に図3のように固定する。ミニ試験管の底部がミニアルコールランプの炎口の真上になるように調節し、ミニアルコールランプで約1分間加熱する。ミニ試験管を加熱し始めると硫黄粉末が融けだし白色～黄色の蒸気が発生する。さらに加熱を続けるとミニ試験管内のスチールウールが硫黄の蒸気と反応し、図4のように赤熱する。



図3 鉄と硫黄の加熱実験



図4 赤熱するスチールウール

2. 反応前後の物質の比較実験

鉄と硫黄の化合実験では、反応によって硫化鉄が生成する。この実験では反応前と異なる物質が生成することを理解するために、実験前の鉄と硫黄の混合物と実験後の生成物の性質を比較する実験を行う。主な比較実験として、1) 磁石との反応、2) 塩酸との反応、があげられる。本研究においても反応前後の物質の性質のちがいを確認するため 1), 2) の実験について、より簡便で安全な方法を検討した。特に、比較実験 2) で発生する硫化水素は有毒で、特有の刺激臭（腐卵臭）を持つ気体である。非常に低濃度でも腐卵臭として感知でき、大気中において 3 ppm (1 ppm = 大気中に 0.0001 %) 以上の濃度で不快臭となる¹⁾。そこで、この課題を解決するために硫化水素の濃度の検討を行い、安全に生成物を確認できる教材開発を行った。

(1) 磁石との反応

硫化鉄は鉄と異なり磁性を持たないため、反応前後の物質を磁石（フェライト磁石、 $\phi 2.5$ cm）との反応により確認した。硫化鉄や混合物に直接磁石を近づけないように、図 5a, b のようにミニ試験管に物質を入れた状態で確認する。加熱実験により硫化鉄が生成しているものの、未反応の鉄が生成物中に残留しているため生成物も磁石に反応する。そのため、磁石への反応の強弱によってちがいを識別する。

(2) 硫化水素の濃度測定

加熱実験で生成した硫化鉄と塩酸により発生した硫化水素の濃度測定を行った。尚、濃度測定は気体検知器（GASTEC GV-100S）を用いた。教科書³⁾に記載の実験では、少量の硫化鉄に対して 5 % 程度の塩酸と反応させる。そこで 0.05 g の硫化鉄と 3 % の塩酸をミニ試験管内で反応させ、気体検知器で硫化水素濃度を測定した。ミニ試験管の開口部 1 cm 上で測定を行ったところ（図 6）、反応開始 1 分後において約 15 ppm の高い濃度を示した。そこで、硫化水素濃度を 1 ppm 程度に抑えるために最適な硫化鉄の試薬量と塩酸の濃度を検討した。その結果、硫化鉄 0.02 g 程度の試薬量に対して、1.5 % の塩酸濃度が適当であることがわかった。以上より、本研究では硫化鉄 0.02 g に対して、1.5 % の塩酸で硫化水素の確認実験を行う。

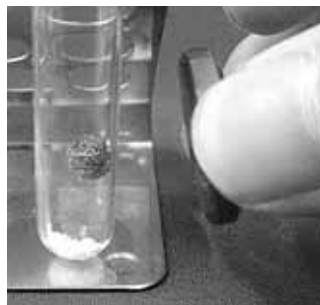


図 5a 磁石との反応（混合物）



b 磁石との反応（生成物）



図6 気体検知器による硫化水素濃度の測定

(3) 生成物と塩酸との反応

反応前の混合物を入れたミニ試験管に、点眼瓶で 1.5 % 塩酸を 5 滴ほど滴下する (図 7)。同様に加熱実験による硫化鉄を含む生成物を別のミニ試験管に約 0.02 g 取り入れ、点眼瓶により塩酸を 5 滴ほど滴下し比較実験を行う。ミニ試験管内の気体発生の様子や、発生する気体の臭いを比較した。硫化水素の腐卵臭が確認できれば、ミニ試験管の半分程度まで別の点眼瓶に入れた水を加えて気体発生を抑え、さらにシリコン栓で開口部を閉じる。この操作により確認後の硫化水素の拡散をほぼ防ぐことができた (図 8)。



図 7 点眼瓶による塩酸の滴下



図 8 シリコン栓による密閉

Ⅲ. 授業実践

開発した実験教材を用いて授業実践を行った。中学校理科「化合」の単元を履修し、実験未経験の中学 2 年生 2 クラス 74 名を対象として、京都市内の私立中学校において 2014 年 7 月に授業を実施した。尚、実験形態は 2 人 1 組の個別実験で、45 分×2 コマの授業で実施した。授業では、「化合物と混合物のちがいについて説明できること」を学習目標として設定し、授業前後においてアンケート調査を実施した。

1. 授業実践

授業ではミニアルコールランプの使い方を練習した後、鉄と硫黄の化合実験を行い、化合物と混合物のちがいを見つけるための検証方法について考察し予想した。ミニアルコールランプの練習及び、鉄と硫黄の化合実験の様子を、それぞれ図 9 及び図 10 に示す。



図 9 ミニアルコールランプの練習の様子



図 10 加熱実験を行う生徒の様子

次に化合物と混合物のちがいを明らかにするため、フェライト磁石との反応性や硫化水素の発生による比較実験を行い、その結果を基にグループで議論し、さらに分子や原子のモデルを活用して考察したことをホワイトボードに記述させた。硫化水素の確認実験の様子を図 11 に示す。ホワイトボードに記述した内容について各グループが発表を行った後、化合物と混合物のちがいについて原子や分子のモデルを活用してグループで議論した。ホワイトボードを用いて発表を行っている様子を図 12 及び 13 に示す。



図 11 硫化水素の腐卵臭を確認する生徒の様子



図 12 グループで議論する生徒の様子



図 13 ホワイトボードを用いて結果を発表

2. アンケート調査の方法・結果

授業後に (1) 加熱や生成物の確認実験の操作性, (2) 実験全体の安全性, (3) 硫化水素の発生量 について選択回答式でアンケート調査を実施した。また, (4) 化合物と混合物の理解 については記述式でアンケート調査を実施し, 授業前後において生徒の「化学変化」に対する認識の変化を考察した。尚, 本実践でも気体検知器を用いて実験中の硫化水素の濃度測定を実施した。

(1) 「加熱や生成物の確認実験の操作性」について

アンケート調査の各選択項目に対して生徒が回答した集計結果を, 質問内容と共に表 1 に示す。表 1 に示すように, 全ての生徒が実験器具の操作性について「操作しやすかった」, または「ふつう (慣れれば操作できた)」と回答した。また, 生徒が各選択項目に対して回答した具体的な意見としては, 「実験器具が小さいため簡単に扱いやすかった」が多く得られた。複雑な実験操作が少なく, 机上における生徒の視野の範囲内で実験を行うことが可能になり, 実験操作の簡略化につながったと言える。

(2) 「実験全体の安全性」について

同様に集計結果を表 2 に示す。約 9 割以上の生徒が, 「安全に実験ができた」と回答した。また, 生徒が各選択項目に対して回答した具体的な意見として, 「ペアの相手の人と協力して実験することができた」, 「塩酸が点眼瓶に入っていたので直接触れることがなかった」などが得られた。2 人 1 組の実験形態で行ったことや, 塩酸の滴下に点眼瓶を用いて簡略化を図ったことにより実験の安全性も向上したと言える。

表 1 「加熱や生成物の確認実験の操作性」についての選択項目に対する生徒の回答

加熱や生成物の 確認実験の操作性	操作しやすかった	ふつう (慣れれば操作できた)	操作しにくかった
回答数 74 名	84 % (62 名)	16 % (12 名)	0 % (0 名)

表 2 「実験全体の安全性」についての選択項目に対する生徒の回答

実験全体の安全性	安全に実験ができた	安全に実験できなかった
回答数 74 名	95 % (71 名)	5 % (3 名)

(3) 「硫化水素の発生量」について

同様に集計結果を表 3 に示す。表 3 の結果から, 硫化水素の確認実験で発生させた硫化水素の濃度について, 「少し臭いがした程度」及び「少し臭いが強かった」と回答した生徒が多かったことがわかる。しかし, 発生する硫化水素の濃度について「危険だと感じた」という回答も 3 %あった。そこで, 本実践において気体検知器を用いて測定した硫化水素の濃度と表 3 の回答結果を比較した。気体検知器による硫化水素濃度の測定結果を図 14 に示す。図 14 の測定結果から, 本実践中に実験室内における硫化水素の濃度は検知限界以下 (1 ppm 以下) であった。すなわち実験器具のダウンサイジングや試薬量の削減により, 安全に硫化水素の確認実験を行うこと

が可能であることが分かった。しかし、約3%の生徒が「危険だと感じた」と回答したことは、臭いの確認方法についての指導が行き届かなかったためと考えられる。

(4) 「化合物と混合物の理解」について

表4のアンケート結果を授業前後で比較すると、「化合物と混合物のちがい」について「説明が不十分」である生徒の割合が約25%減少した。さらに“十分に説明できている”生徒の内、「化合物」や「混合物」に関する具体的な語句(図15, 下線部参照)を3つ以上記述できた生徒の割合が約20%増加した。これは、鉄と硫黄が赤熱して反応する様子や、実験前後の物質と磁石との反応性、さらに硫化水素の発生による比較実験を観察できたことで、「化学変化」や「混合物と化合物の性質のちがい」をより具体的に考察しようとした結果であると考えられる。

表3 「硫化水素の発生量」についての選択項目に対する生徒の回答

硫化水素の発生量	臭いがしなかった	少し臭いがした程度	少し臭いが強かった	危険だと感じた
回答数 74名	4% (3名)	50% (37名)	43% (32名)	3% (2名)

表4 「化合物」や「混合物」に関する具体的な語句数の変化

回答数 74名	授業前			授業後		
	十分に説明できている		説明が不十分	十分に説明できている		説明が不十分
記述内容の評価						
具体的な語句の数	3個以上	0~2個		3個以上	0~2個	
回答者の割合	23% (17名)	42% (31名)	35% (26名)	43% (32名)	47% (35名)	10% (7名)

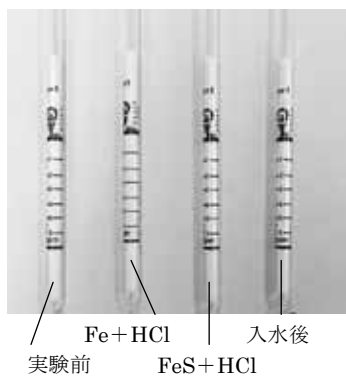


図14 気体検知器による硫化水素濃度の測定結果

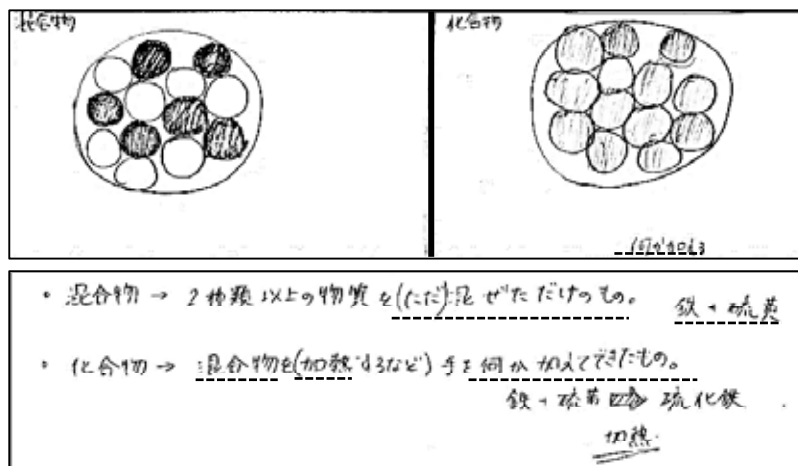


図15 実験前(上)のアンケートの記述例、及び実験後(下)のアンケートの記述例

IV. おわりに

本研究では、鉄と硫黄の化合実験に関するマイクロスケール実験の教材開発を行い、それを用いて中学生を対象とした授業実践を行った。授業実践を通して、表1及び表3の結果から、実験器具のダウンサイジングや試薬量の削減を行うことにより、実験操作の簡略化につながり、かつ安全に硫化水素を確認できることが分かった。また表2のアンケート結果から、2人1組の個別実験を取り入れることで、実験器具の誤操作も少なく、実験操作の安全性の向上にもつながることが分かった。図16に生徒がグループ議論の際にホワイトボードに記述した

考察の例を示す。図 16 から、実験後にグループ議論で十分に意見交換する時間を確保したことにより、反応前後の様子を粒子モデルや他のモデルを用いて、詳しく考察できていることが分かった。その結果、表 4 や図 15 に示したように、「化合物」や「混合物」の記述内容に具体的な語句が増加したと考えられる。以上より 2 人 1 組の個別実験の導入に伴い、一人ひとりが役割を持って実験を行うことで実感の伴った「化学変化」の理解につながることが分かった。

今後の課題として、気体検知器を用いた硫化水素濃度の測定を詳細に行い、安全に硫化水素の発生実験を行うことが可能となる、最適な硫化鉄の質量と塩酸濃度について検討していきたい。さらに本教材を用いた授業展開についても改善し、授業実践を通して開発した教材の有効性について検討していきたい。

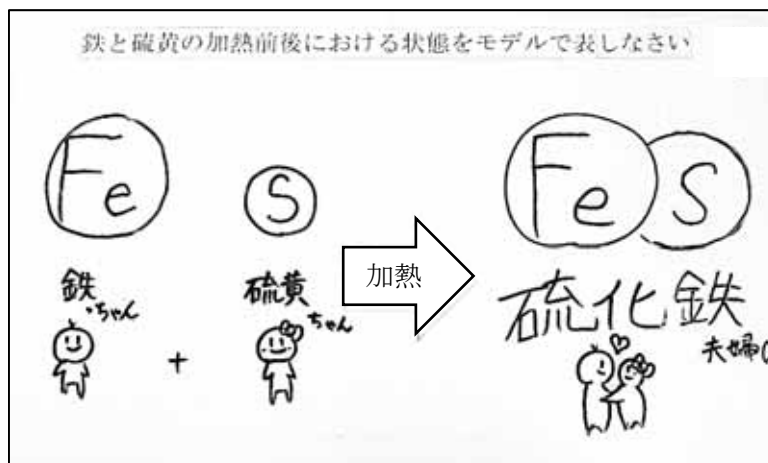


図 16 グループ議論の際にホワイトボードに記述した生徒の考察

授業実践は、京都女子中学校教諭 嶋岡眞由美氏の協力により実施した。謝意を表する。

本研究は平成 26 年度教育研究改革・改善プロジェクトの援助により、また一部は、JSPS 科研費（基盤研究 C 課題番号 26350233、代表者 芝原寛泰）の助成を受け実施された。

参考文献

- 1) 文部科学省、「中学校学習指導要領解説 理科編」2008 年.
- 2) 文部科学省、「中学校学習指導要領」2008 年.
- 3) 霜田光一ら、「中学校科学 2」学校図書, p.27, 2011 年. その他
- 4) 荻野和子,「マイクロスケール実験の広場 (その 1)「マイクロスケール実験の広場」へのお誘い」化学と教育, 第 49 巻, 第 2 号, p.110, 2001 年.
- 5) 芝原寛泰, 佐藤美子,「マイクロスケール実験ー環境にやさしい理科実験ー」オーム社, p.2, 2011 年.
- 6) 柴辻優俊, 芝原寛泰,「中学校理科における鉄と硫黄の化合の教材開発ー安全性に配慮したマイクロスケール実験の活用ー」日本理科教育学会第 64 回全国大会論文集, p.219, 2014 年.
- 7) 中野源大・芝原寛泰,「高等学校化学における二酸化窒素を用いた化学平衡の移動実験ーマイクロスケール実験による教材開発及び授業実践ー」理科教育学研究, Vol.54, No.3, pp.393-401, 2014 年.
- 8) 佐藤美子, 芝原寛泰,「考える力の育成を目指す生徒による実験プランニング」京都教育大学教育実践研究紀要, No.10, pp.71-81, 2010 年.
- 9) 佐藤美子, 芝原寛泰,「考える力の育成を目指す実験活動ー中学校理科における個別実験を含む授業展開ー」京都教育大学教育実践研究紀要, No.12, pp.79-85, 2012 年.
- 10) 佐藤美子, 芝原寛泰,「マイクロスケール実験による実感を高める「気体発生と性質」の教材実験ー個別実験と時間短縮を目指してー」科学教育研究, Vol.38, No.3, pp.168-175, 2014 年.
- 11) 消防研究センター,「硫化水素による自殺事件の多発とその対策」消防の動き, 9 月号, pp.15-16, 2008 年.