熊本大学教育学部紀要
第71号, 235－239, 2022

中学校理科における発熱反応に関する教材研究

―実験廃棄物を考慮した小容量実験―

阿部匠真・島田秀昭

Developing materials for teaching the exothermic reaction in lower secondary school science:

A small-scale experiment that considered experimental waste

Takuma Abe and Hideaki Shimada

（Received September 30, 2022）

The exothermic reaction is studied in lower secondary school science. However, the experimental conditions for exothermic reaction described in the text book produces a large amount of experimental waste. Thus, in the present study, to obtain the suitable conditions for the exothermic reaction that considered experimental waste, we examined the effects of amount and ratio of iron powder and activated carbon on the reaction. The experimental conditions for the exothermic reaction using vermiculite instead of iron powder were also examined.

Key words : exothermic reaction, small scale, experimental condition, teaching material

はじめに

中学校理科第２学年では，「化学変化と原子・分子」について学習する[1)]．本単元の項目である「化学変化」における「化学変化と熱」では，「化学変化によって熱を取り出す実験を行い，化学変化には熱の出入りが伴うことを見いだして理解させること」をねらいとしている[1)]．ここで行う実験としては，「アルコールの燃焼やカイロなど，日常生活や社会で利用されているものを取り上げて学習に対する生徒の興味・関心を高め，科学を学ぶ有用性に気付くことのできるように配慮するとともに，鉄粉の酸化を利用したカイロを生徒につくらせるなど，ものづくりを通して化学変化による発熱についての理解を深めるようにすることが考えられる」と記されている[1)]．

中学校理科の教科書における発熱反応の実験としては，鉄粉に活性炭を混合して発熱させる化学カイロの実験が取り上げられている[2-6)]．これらの教科書に記載されている実験条件では，１回の実験で５～８gの鉄粉および２～３gの活性炭を使用する[2-6)]．例えば，１クラス４人一組，９班で実験を行った場合，１回の実験で鉄粉を１班当り5g，活性炭を2g使用したとすると，鉄粉および活性炭の混合廃棄物が９班の合計では73g出ることになる．

近年，多くの環境問題を背景に環境に配慮したマイクロスケール実験が注目されている．マイクロスケール実験とは，通常の実験の数十分の一から数百分の一の小規模で行う実験であり，通常の実験と比較して使用する試薬量や実験廃液が少ないことから安全性が高く，さらに実験時間が短い，生徒個人あるいは二人程度の小人数で実験することができるなど数多くの利点がある[7, 8)]．

そこで本研究では，安全で環境に配慮した発熱反応の実験条件を確立することを目的として，本実験で用いる実験材料，すなわち鉄粉および活性炭を可能な限り少なくした実験条件ついて検討した．また，鉄粉の代替品として農園や園芸等で広く用いられているバーミキュライトを使用したときの発熱反応について，鉄粉を使用した場合と比較検討した．

実験方法

1. 実験材料

反応容器としては，市販のポリ袋（縦250mm×横130mm）および遠沈管（50mL，コーニング社製）を使用した．活性炭およびバーミキュライトは市販のも

熊本大学大学院教育学研究科

のを使用した．鉄粉および塩化ナトリウムは，それぞれ（株）協和純薬工業社製および（株）ナカライテスク社製のものを使用した．

遠沈管は，フタの中央に温度計を差し込む孔と，フタの他の箇所に空気が抜ける孔を開けて用いた(図 1)．

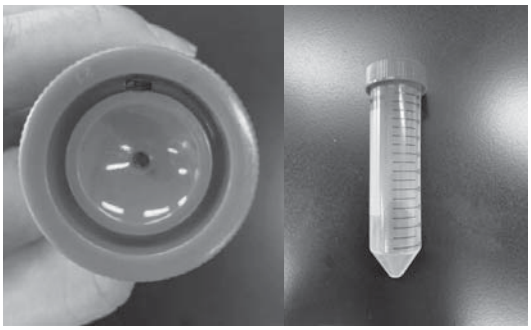


図 1　遠沈管

2. 鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトを用いたときの反応容器および試薬量の検討

ポリ袋または遠沈管に鉄粉（8，4 または 2g）および活性炭（4，2 または 1g），鉄粉（8，4 または 2g）およびバーミキュライト（2，1 または 0.5g）を加えて混合し，5% 塩化ナトリウム水溶液を十分に染み込ませたキムワイプ(鉄粉 4g の場合:2cm×2cm を 2 枚，鉄粉 2g の場合：2cm×2cm を 1 枚，鉄粉 1g の場合：1cm×1cm を 2 枚）を入れた．次に，それぞれの反応容器にデジタル温度計をセットし，セットした瞬間から時間の計測を開始するとともに，最初の 15 秒間は反応容器を振って攪拌した．温度は反応開始から 30 秒ごとに 7 分間測定した．実験はすべて 3 回ずつ行い，データは平均±標準偏差で示した．

3. 鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトの混合比の検討

遠沈管に鉄粉（2g）および活性炭（2，1.5，1 または 0.5g)，鉄粉（2g）およびバーミキュライト（2，1.5，1 または 0.5g）を加えて混合し，5% 塩化ナトリウム水溶液を十分に染み込ませたキムワイプ（1cm×1cm を 2 枚）を入れた．次に，反応容器にデジタル温度計をセットし，セットした瞬間から時間の計測を開始するとともに，最初の 15 秒間は反応容器を振って攪拌した．温度は反応開始から 30 秒ごとに 7 分間測定した．

4. 温度変化測定時におけるデジタル温度計およびアルコール温度計の比較

遠沈管に鉄粉（2g）および活性炭（0.5g)，鉄粉（2g）およびバーミキュライト（0.5g）を加えて混合し，5% 塩化ナトリウム水溶液を十分に染み込ませたキムワイプ（1cm×1cm を 2 枚）を入れた．次に，反応容器にデジタル温度計またはアルコール温度計をセットし，セットした瞬間から時間の計測を開始するとともに，最初の 15 秒間は反応容器を振って攪拌した．温度は反応開始から 30 秒ごとに 7 分間測定した．

結果と考察

1. 鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトを用いたときの反応容器および試薬量の検討

発熱反応を小容量化するにあたり，教科書に記載されている反応容器であるポリエチレン製の袋とは別に，遠沈管を用いて反応容器を作製し，それぞれの反応容器における温度変化について試薬量を変化させて検討した．

先ず，教科書に記載されている試薬量である鉄粉 8g および活性炭 4g と，鉄粉 8g およびバーミキュライト 2g を用いたときの発熱反応について 2 種の反応容器を用いて比較した（図 2)．

ポリ袋の場合では，活性炭およびバーミキュライトともに反応開始後から時間の経過とともに温度は上昇し，2 分 30 秒後にそれぞれ約 50℃に到達した．その後も温度上昇は継続し，5 分過ぎには 70℃の手前でプラトーに達した．

一方，遠沈管の場合では，活性炭およびバーミキュライトともに反応開始後から温度の上昇は緩やかであ

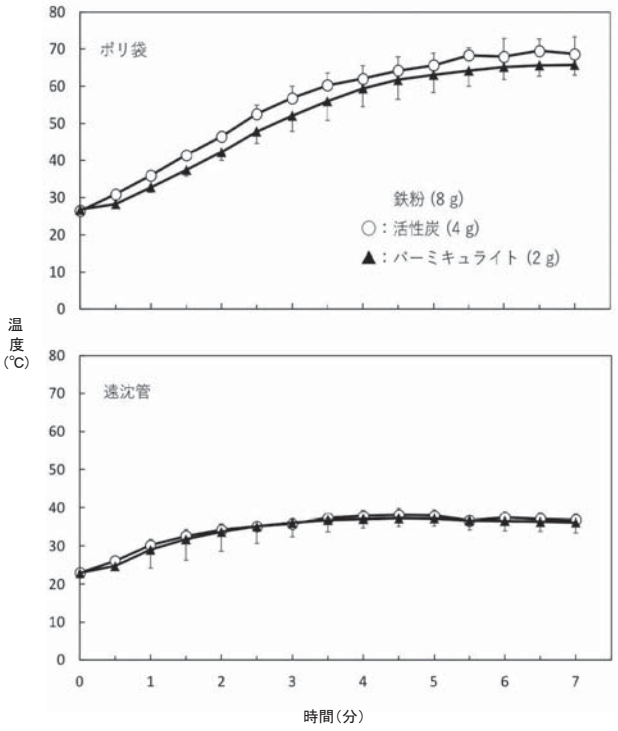


図 2　鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトを用いた発熱反応に及ぼす反応容器の影響

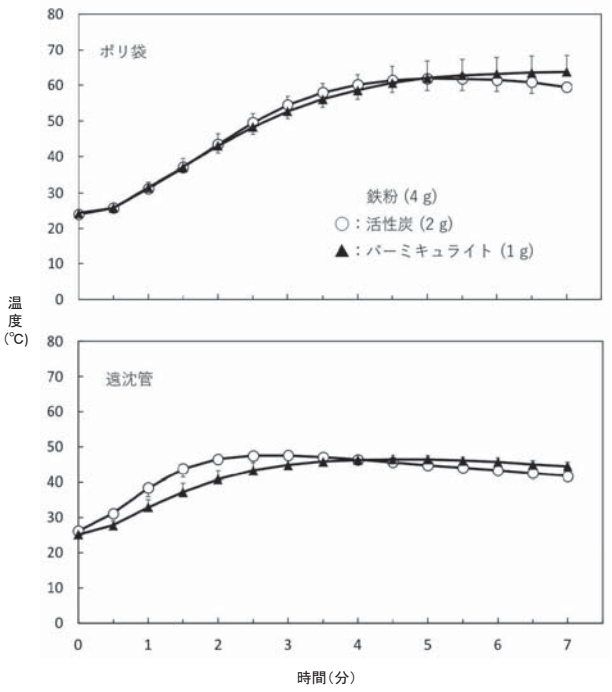


図 3　鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトを用いた発熱反応に及ぼす反応容器の影響

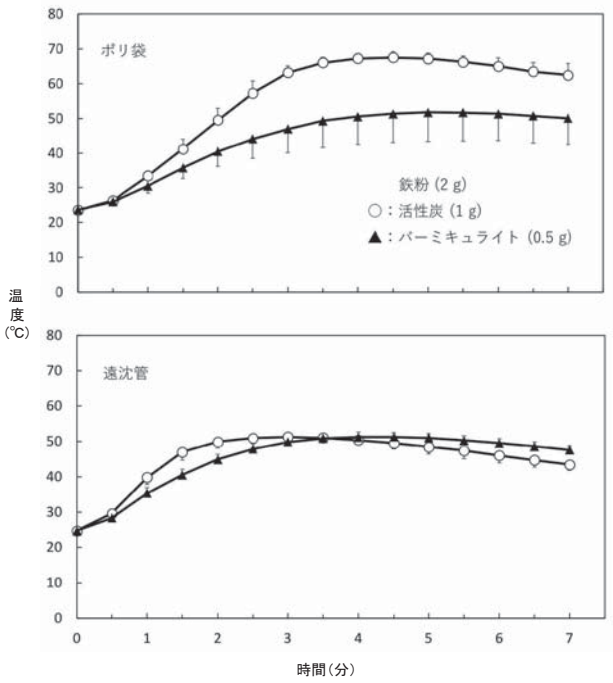


図 4　鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトを用いた発熱反応に及ぼす反応容器の影響

り，3 分 30 秒後には 40℃手前でプラトーに達した．

ポリ袋と遠沈管で見られた温度差の原因としては，遠沈管ではその体積に比べて鉄粉の量が多過ぎたため，すべての鉄粉が酸化しなかったことが考えられた．

次に，教科書に記載されている試薬の 1/2 量である鉄粉 4g および活性炭 2g，鉄粉 4g およびバーミキキュライト 1g を用いたときの発熱反応について検討した（図 3）．

ポリ袋の場合では，活性炭およびバーミキュライトともに反応開始後から時間の経過とともに温度は上昇し，2 分 30 秒後にそれぞれ約 50℃に到達した．その後も温度上昇は継続し，4 分 30 秒後には約 60℃でプラトーに達した．

遠沈管の場合では，活性炭およびバーミキュライトともに 1/1 量の場合と比較して短時間で温度は大きく上昇した．中でも，活性炭では最高温度までの到達時間が早く，2 分後に 50℃付近まで上昇し，プラトーに達した．バーミキュライトでは 3 分 30 秒後に 45℃付近でプラトーに達した．また，ポリ袋の場合と比較して遠沈管ではデータのばらつきが小さかった．

教科書に記載されている試薬の 1/4 量である鉄粉 2g および活性炭 1g，鉄粉 2g およびバーミキュライト 0.5g を用いたときの発熱反応について検討した（図 4）．

ポリ袋の場合では，活性炭では 2 分後に 50℃付近に達し，4 分後に 70℃の手前でプラトーに達した．一方，バーミキュライトでは温度上昇がゆるやかになり，4 分後に約 50℃でプラトーに達した．

遠沈管の場合では，1/2 量の場合と同様な温度曲線を示し，活性炭では 2 分後に，バーミキュライトでは 3 分後に約 50℃に達した．また，ポリ袋の場合と比較して遠沈管ではデータのばらつきが小さかった．

以上の結果から，ポリ袋および遠沈管ともに試薬の量を教科書に記載されている量の 1/2 または 1/4 に減じても十分な結果が得られることがわかった．また，ポリ袋と比較して遠沈管ではデータのばらつきが小さかった．この理由の一つとして，ポリ袋は柔らかいため固定することが難しく，手でポリ袋を持ったまま温度を測定したため，測定ごとに温度計の位置がずれ，データにばらつきが生じたものと考えられた．その点，遠沈管はフタに温度計を挿して固定することができるため，測定ごとに温度計がずれることはなく，データのばらつきが小さかったものと考えられた．また，遠沈管をスタンド等に固定することにより，手を放した状態で温度測定をすることができるという利点もある．したがって，発熱反応における反応容器としては，データのばらつきが小さく，安定した実験結果が得られる遠沈管が適していると思われる．

2. 鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトの混合比の検討

次に，遠沈管を用いた際に最適な実験結果が得られる鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトの

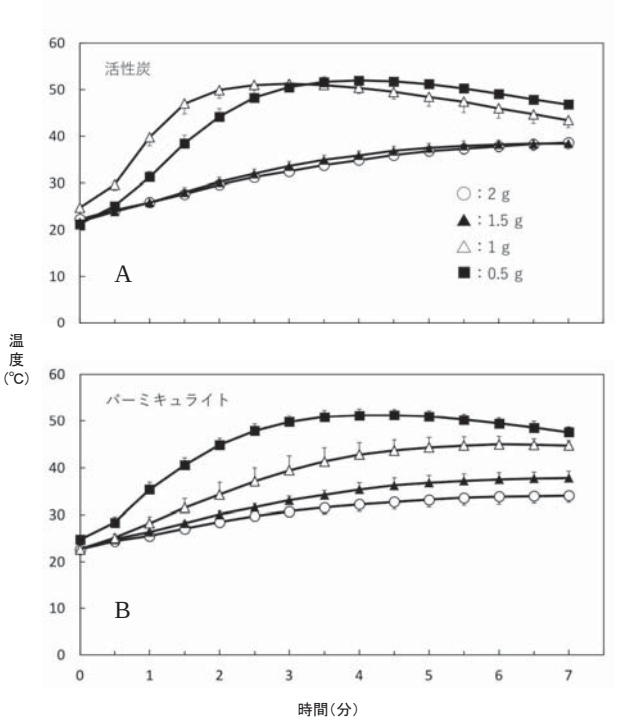


図 5　発熱反応における鉄粉および活性炭，鉄粉およびバーミキュライトの混合比の影響

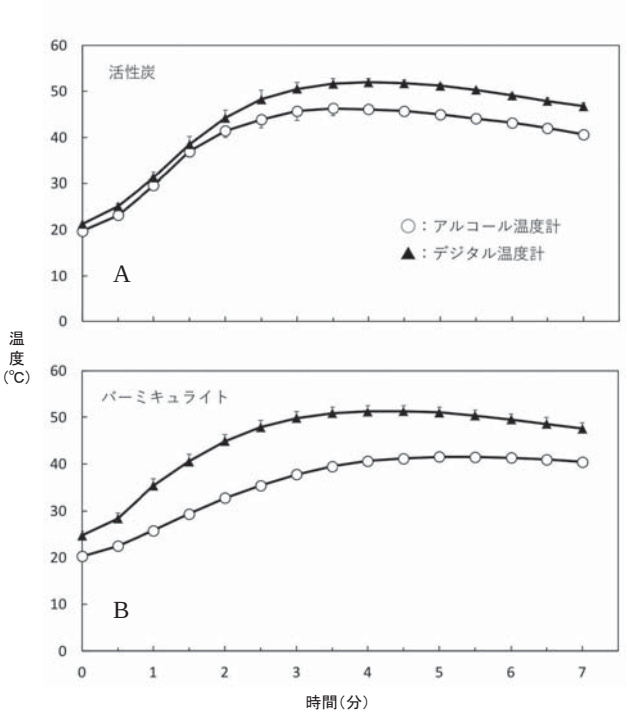


図 6　発熱反応におけるアルコール温度計およびデジタル温度計による温度変化の違い

混合比について検討した．

鉄粉を 2g に固定し，活性炭の量を変化させたときの温度変化を図 5（A）に示す．

温度上昇は 1g の場合が最も速く，反応開始 2 分後に 50℃に達した．次いで 0.5g の場合が速く，3 分後に 50℃に到達した．一方，1.5 および 2g の場合では緩やかな温度上昇を示し，いずれも 40℃に満たなかった．

鉄粉を 2g に固定し，バーミキュライトの量を変化させたときの温度変化を図 5（B）に示す．

温度上昇は 0.5g の場合が最も速く，反応開始 3 分後に 50℃に達した．次いで 1g の場合が速かったが，40℃を超えた付近でプラトーに達した．1.5 および 2g の場合では緩やかな温度上昇を示し，いずれも 40℃に満たなかった．

活性炭およびバーミキュライトの両方において，鉄粉（2g）との混合量が 1.5 および 2g に増加すると温度上昇が緩やかになり，最高到達温度も低下した．この原因の一つとして，今回の実験では混合する試薬量に関係なく食塩水の量が一定であったため，活性炭とバーミキュライトの量が多くなるにつれて鉄粉に触れる食塩水の割合が少なくなったことが考えられる．

以上の結果から，鉄粉および活性炭の場合では，鉄粉 2g に対して活性炭 1 または 0.5g が最も効率が良く，鉄粉およびバーミキュライトの場合では，鉄粉 2g に対して活性炭 0.5g が最も効率が良いことがわかった．

3. 温度変化測定時におけるデジタル温度計およびアルコール温度計の比較

中学校における理科の実験では，温度測定にはアルコール温度計が使用されており，デジタル温度計をグループの数だけ用意するのは予算面から難しいことが考えられる．そこで，アルコール温度計およびデジタル温度計を用いたときの温度変化について比較検討した．

鉄粉 2g および活性炭 1g を混合したときの温度変化を図 6（A）に示す．

デジタル温度計およびアルコール温度計ともに同様な温度上昇を示した．最高温度はデジタル温度計の方がアルコール温度計よりも 5℃程度高かった．この違いはこれらの温度計の測定感度や接触面積等の違いによるものと推察された．

鉄粉 2g およびバーミキュライト 0.5g を混合したときの温度変化を図 6（B）に示す．

デジタル温度計と比較してアルコール温度計では温度上昇が緩やかになった．最高温度はデジタル温度計の方がアルコール温度計よりも 10℃以上高い値を示した．この温度差は，バーミキュライトの粒径が大きいことによる測定部への接触面積の差が活性炭の場合よりも大きく現れたことによるものと推察されるが，現段階では不明である．

以上の結果より，アルコール温度計を用いても十分な結果を得ることができた．アルコール温度計を用い

る場合には，鉄粉および活性炭の組み合わせが適していると考えられた．

おわりに

本研究では，発熱反応に関する実験条件について検討し，最適な結果が得られる条件を設定した．今回設定した実験条件は，教科書に掲載されている実験条件よりも少量の試薬量で実験を行うことができるため，安全で環境に配慮した実験が実施できるものと期待される．

参考文献

1） 文部科学省：中学校学習指導要領解説 理科編，学校図書，pp. 46-51，2018.
2） 梶田隆幸 他．新しい科学 2，2021，東京書籍.
3） 大矢禎一 他．未来へ広がるサイエンス 2，2021，啓林館.
4） 霜田光一 他．中学校 科学 2，2021，学校図書.
5） 有馬朗人 他．理科の世界 2，2021，大日本図書.
6） 室伏きみ子 他．自然の探求 中学理科 2，2021，教育出版.
7） 荻野和子．化学と教育，49（2），pp. 110（2001）.
8） 中川徹夫．マイクロスケール実験研究論文集，神戸女学院大学人間環境学部・バイオサイエンス学科科学教育研究室発行（2011）.