

教材研究

化学エネルギーを実感できる実験紹介

肆矢 浩一
Koichi YOTSUYA

1. はじめに

ロケットの発射実験は、理科実験として興味あるテーマである。物理分野では作用反作用、化学分野では燃料の爆発反応が関係する。従来から水圧を利用したペットボトルロケット、黒色火薬を利用した化学ロケットなどいろいろ考案されている。本稿では、水素ならびにエタノールを燃料としたロケット、マッチを使った簡単なロケットの実験を紹介したい。また、黒色火薬の成分となっている硝酸カリウムが、酸化剤としての働きを実感できるような実験についても触れてみたい。

2. 実験紹介「エタノールまたは水素でロケットを飛ばす」

A. ロケットと発射台の製作

【準備するもの】

ロケット発射台：圧電素子発火器、ミノムシクリップ付きリード線（2本）、スチロール製ボックス（92mm×53mm×96mm、箱型）、合成樹脂被覆スチール線（直径6mm、長さ5cm、2本）（写真1）

ロケット：ディスプレイペット（アズワン社製、5mLのポリエチレン製）、電極（ステンレス線、直径0.9mm×長さ2cm、2本）（写真2）

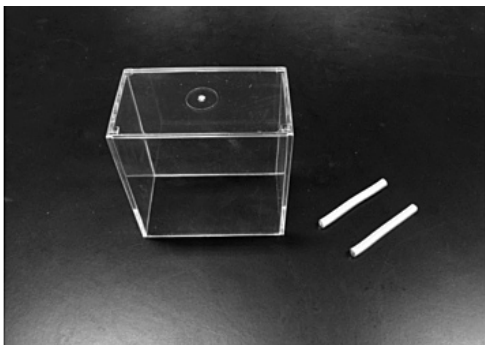


写真1 ロケット発射台の材料

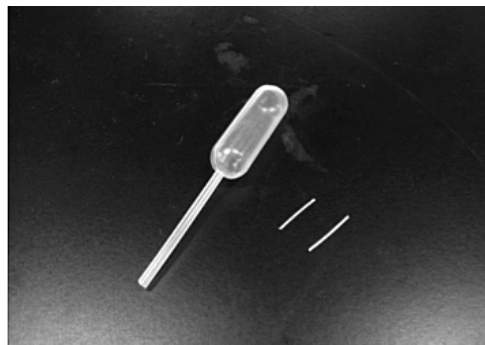


写真2 ロケットの材料

【製作】

・発射台

スチロール製ボックス上の中央部に、ハンダごてを使うことによりディスプレイピペットを差し込むための直径4mmの穴をあける。さらに穴の両側に合成樹脂被膜のスチール線電極を貼りつける。(写真3)

・ロケット

ディスプレイピペットの下部の両端に2cmのステンレス線を刺し、圧電素子により点火するための電極とする。(写真3)

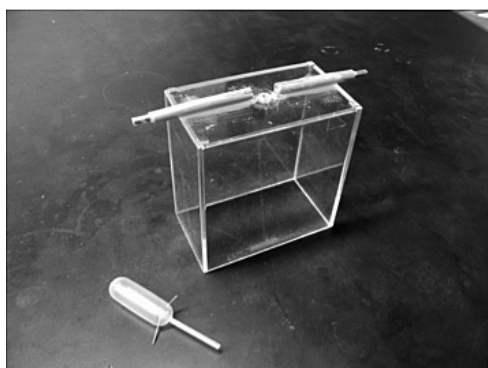


写真3 発射台とロケット

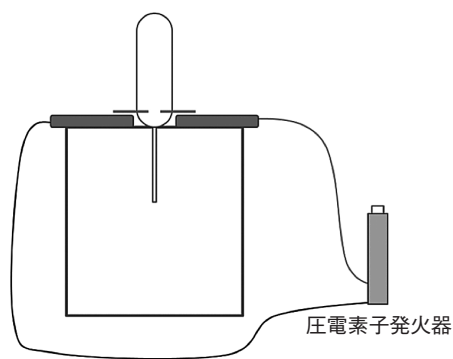


図1 発射台とロケットの模式図

B. エタノールによるロケットの発射実験

ディスプレイピペットにアルコールを入れ蒸発させる。これに圧電素子発火器を接続し火花を発生させ、エタノールを爆発させる(図1)。爆発した際、発生した気体が噴出することにより、ディスプレイピペットを1mの高さに飛ばすことができる(写真4)。このとき、ディスプレイピペット内で爆発が起こっても、炎はほとんど見えない。アルコールに食塩(塩化ナトリウム)を溶かし、同様の実験を行うと、炎が黄色になる(写真5)。また、塩化ストロンチウムを溶かした場合、赤く呈色することになる(写真6)。この実験で、炎色反応を確認することもできる。

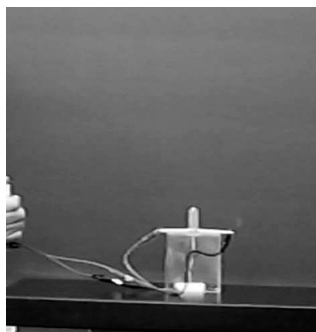


写真4-1 エタノールによる発射実験

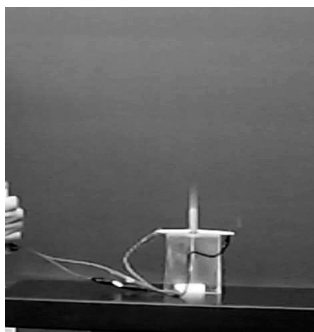


写真4-2



写真4-3



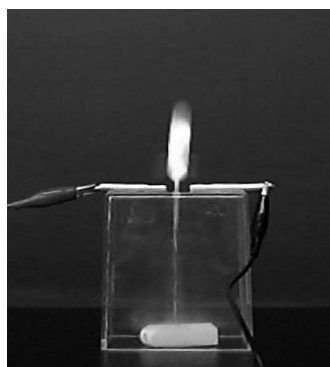
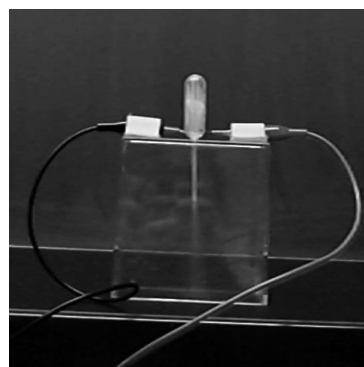
写真4-4



写真4-5

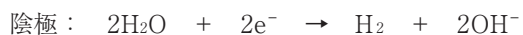


写真4-6

写真5 Naの炎色反応
(カラーページ)写真6 Srの炎色反応
(カラーページ)C. 水素によるロケットの発射実験¹⁾

ディスポピペット内に電解液として0.1mol/L硫酸ナトリウム水溶液を入れる。9Vの乾電池を用いて5分間電気分解を行うと、水素と酸素の混合気体が5mL捕集できる。また、手回し発電機だけで行うと、電気分解に約20分かかる。

ステンレス電極を用いたとき、陽極および陰極でおこる変化を次式に示す。



さらに、圧電素子発火器を接続し、ディスポピペット内に火花を発生させると、ディスポピペットがロケットのごとく約50cm飛び出す(写真7)。

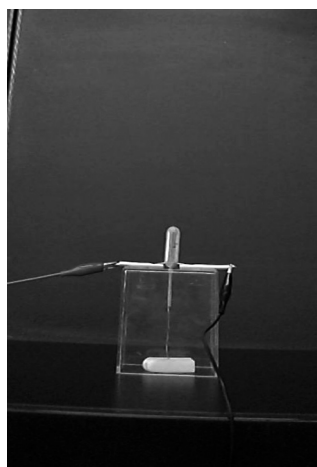


写真7-1 水素による発射実験

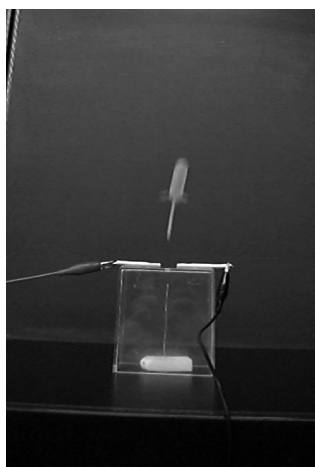


写真7-2

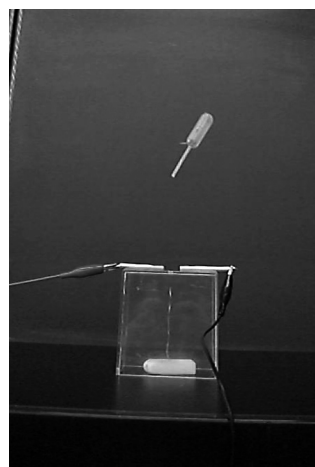


写真7-3

3. 実験紹介「マッチを使ってロケットを飛ばす」

A. マッチの歴史と化学成分²⁾

摩擦マッチの発明は1827年、ウオーカー（イギリス）によってなされた。このマッチは塩素酸カリウム KClO_3 と塩化アンチモンの混合物をアラビアゴムでねり、紙の上にぬったものであった。これは強くこすらないと発火しないので、実用化しなかった。その4年後初めて黄リンの摩擦マッチがつけられた。これは黄リンに塩素酸カリウムを混ぜ、にかわでこねたものを軸木の先につけたもので、弱い摩擦で発火したので数十年間使われた。しかし、黄リンの蒸気は有毒のため、製造の従業員が徐々に骨を侵されることがわかり、安全マッチが開発されることになった。安全マッチは1900年代に入ってからのもので、歴史はあまり古くない。安全マッチの代表的なものは、軸木の頭部にパラフィンをしみこませ、その上に頭薬がぬってある。頭薬は塩素酸カリウム、硫黄、ガラス粉、酸化マンガン(IV) MnO_2 などを固めたものである。一方、箱の側面には硫化リン、赤リンまたは硫化アンチモンなどの発火薬と摩擦を与えるガラス粉・ケイ砂がぬってある。

B. マッチを使ったロケットの発射実験³⁾

マッチの頭薬をタバコの銀紙で包み点火すると、頭薬の酸化剤と炭素・硫黄が激しく燃焼し、ガスが噴出する。このガスの噴出力がマッチを飛び出させる推進力となる。空気中の酸素ではなく、酸化剤の働きによる炭素・硫黄の燃焼反応が反応の原理となっている。

【準備するもの】

マッチ、銀紙、シャーレ、チャッカマン（写真8）

【実験方法】

- ① マッチの先（頭薬の部分）をタバコの銀紙で完全に包む。

- ② 頭葉が銀紙で密封されるように、銀紙の先をねじっておく。
- ③ マッチ棒を60°程度の角度で、シャーレに立てかける（写真9）。
- ④ 図2に示すマッチの位置に、チャッカマンで点火する。
- ⑤ 頭葉に点火し、マッチが勢いよく飛ぶ（写真10）。

なお、図2に筆者が1991年に著した実験の模式図を示す。

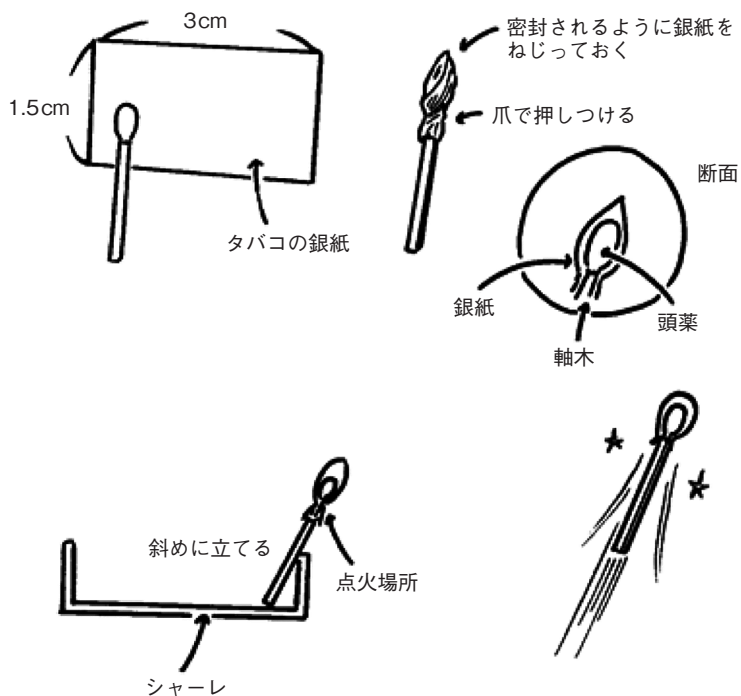


図2 マッチロケットの発射実験（模式図）

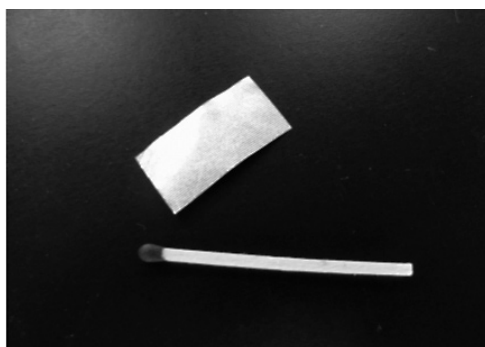


写真8 銀紙とマッチ

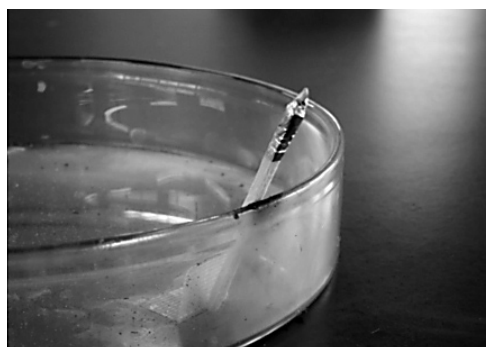


写真9 マッチロケットのセット



写真10-1 マッチロケットの発射

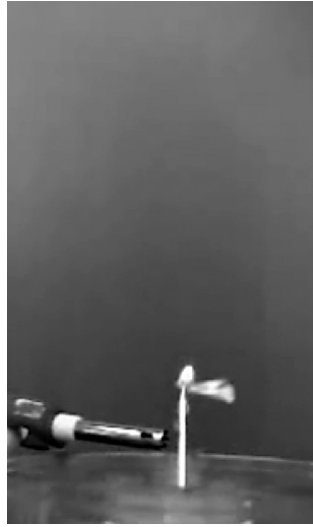


写真10-2



写真10-3

4. 実験紹介「硝酸カリウムの酸化作用をみる実験」

A. 黒色火薬の歴史と化学成分⁴⁾

日本にはじめて鉄砲が種子島に伝来したのは1543年であり、鉄砲と同時に黒色火薬も伝えられた。鉄砲に使われた黒色火薬は、木炭と硫黄、それに硝石の混合物である。木炭は木の燃え残りから、硫黄は火山地帯の日本では古来よりなじみのある物質であり、これらは容易に入手できたものである。それに対して、硝石は硝酸カリウム KNO_3 が成分であり、日本には天然には存在していない鉱石である。江戸時代においては鎖国で硝石を輸入できないため、硝石の製造には日本独自の発想があった。江戸時代の文献によると、硝石の製造法の記載が残されている。以下にその製造法の概要を簡単に示す。

干し草を焼いた灰に、魚のはらわたなどの腐ったものを混ぜる。さらにこれらに土を混ぜ込んで、2～3年繰り返していくと硝石が得られるとしている。腐ったものからアンモニウムイオン NH_4^+ が生成する。亜硝酸菌の働きでアンモニウムイオンから亜硝酸イオン NO_2^- がつくられ、さらに硝酸菌の働きで硝酸イオン NO_3^- ができる。硝酸イオンは土に含まれている酸化カルシウム CaO と反応して硝酸カルシウム $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ となり、さらに灰に含まれている炭酸カリウム K_2CO_3 と反応して硝石がつくられる。以上の化原変化を化学反応式で表すと、①～④の過程で示すことができる。



2011年3月に岐阜県大野郡白川郷を訪れる機会があった。白川郷の和田家では、塩硝が江戸幕府や大阪城などに納められていたという古文書がある（写真11）。このうち1843年（天保14年）以降の当主によって記録された「上煮焰硝製始末改おぼえ書」に1689年（元禄2年）と記された焰硝桶が和田家に存在したことが記録に残っている。塩硝とは銃などに使われる黒色火薬の硝酸カリウムをさす。白川郷では焰硝と表記されている（写真12）。⁵⁾



写真11 白川郷和田家



写真12 焰硝

黒色火薬の化学組成は、硝酸カリウム75%、硫黄10%、炭素15%である。火薬の製法は、まず炭素と硫黄を乳鉢でよく混合する。それに硝化カリウムを混ぜると黒色火薬になる。この中で硝酸カリウムは加熱によって分解し酸素を発生するため、強力な酸化剤として働く。



B. 硝酸カリウムの酸化作用をみる実験⁶⁾

黒色火薬の成分である硝酸カリウムに関して酸化作用としての働きを、実感するための実験を紹介したい。

【準備するもの】

試験管、スタンド、ガスバーナー、硝酸カリウム、硫黄（写真13）

【方法】

- ① 試験管に約3gの硝酸カリウムをとる。
- ② 試験管をガスバーナーで加熱して、硝酸カリウムを融解させる（写真14）。
- ③ 試験管に少量の硫黄を入れる。このとき、硫黄は烈光を放って燃焼する（写真15）。

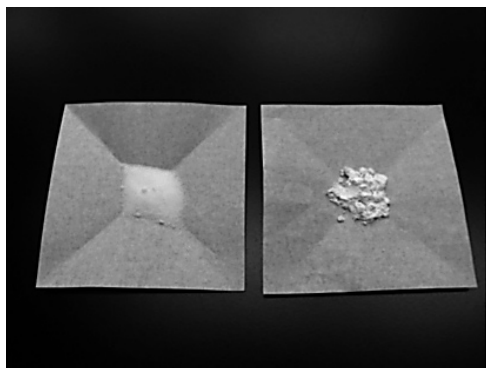


写真13 硝酸カリウム（左）と硫黄（右）

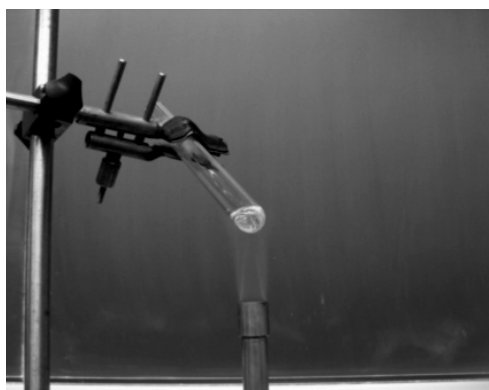


写真14 硝酸カリウムの融解



写真15 硝酸カリウムと硫黄の反応

5. おわりに

2011年3月11日に起こった福島第一原発の事故以来、いかにエネルギーを確保するかについて、いろいろ議論がなされている。最近では、いろいろあるエネルギーの中で再生可能エネルギーが原子力発電の代わりになることが注目されている。ここで、理科教育の現場ではエネルギーについて生徒に関心を持たせることが必要と考える。教科としての化学は、物質を対象とした内容であり、とくに粒子概念とエネルギー概念が化学理論の根幹をなしている。粒子概念は、目に見えない原子や分子をイメージさせるために、いろいろな実験が提案されている。一方、エネルギー概念は、化学の教科として熱化学の項目で発熱反応や吸熱反応を取り上げ、酸化還元で電池の原理や、電気エネルギーによって物質が分解されることについて触れられているに過ぎない。化学変化は物質変化とともにエネルギー変化を伴う。この点についてもっと印象付ける実験が必要と考えていた。それには、エネルギー変換の実験により、いろいろなエ

エネルギーの形態について興味を持たせることが有効であると思われる。

本稿では、力学的エネルギーから電気エネルギー、電気エネルギーから化学エネルギー、化学エネルギーから力学的エネルギーというエネルギー変換を通して、エネルギー概念について興味づける実験を提案した。とくに、化学エネルギーから力学的エネルギーへのエネルギー変換については、ロケットの発射実験がわかりやすく興味を持たせることができる実験であることを強調したい。

最後に、実験写真の撮影に協力していただいた実験助手の平田久仁子さんに感謝を申し上げたい。

【参考文献】

- 1) 肆矢浩一「簡易型電解装置の製作と水素の燃焼反応の教材化」平成22年度東レ理科教育賞受賞作品集
- 2) 疋田強「火の科学」培風館、1982年
- 3) 日本私学研究所編「誰でもできる化学実験」日本教育新聞社、1991年
- 4) 久保田浪之介「火薬のはなし」日刊工業新聞社、1996年
- 5) 北國新聞、2009年5月14日
- 6) 藤木源吾「化学講義実験法」共立出版株式会社、昭和1956年