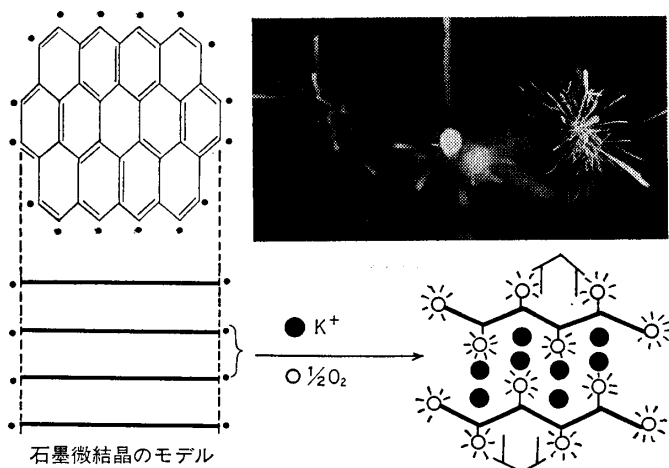


# 線香花火の簡単な作り方

## — 石墨微結晶と線香花火 —



提案者 伊藤 秀明  
追試者 宮本 正彦

### 目的

江戸時代より日本人に親しまれている線香花火だが、その成分を知る人は少ない。線香花火の燃焼反応の奥深さは寺田寅彦(1878—1935)の随筆(備忘録)にあるとおり、化学的にも興味深いものがある。

誰でも線香花火に興味を持つ。薬量も、1本0.1gと少なく安全性も高い。生徒実験に火薬を取り上げたくない向きには硝酸カリウム( $KNO_3$ )

を使わない線香花火もある(実験II)。本実験では線香花火を身近な材料で自作できるように工夫を凝らした。

### [実験 I ( $KNO_3$ を使う線香花火)]

### 準備

約9本分の花火を作るのに必要なものを示す。

薬品： $KNO_3$  0.55g(特級)、硫黄 0.25g、テレピン油 50ml(500ml, 750円)。

器具：アルコールランプ、三脚、アルミホイル、

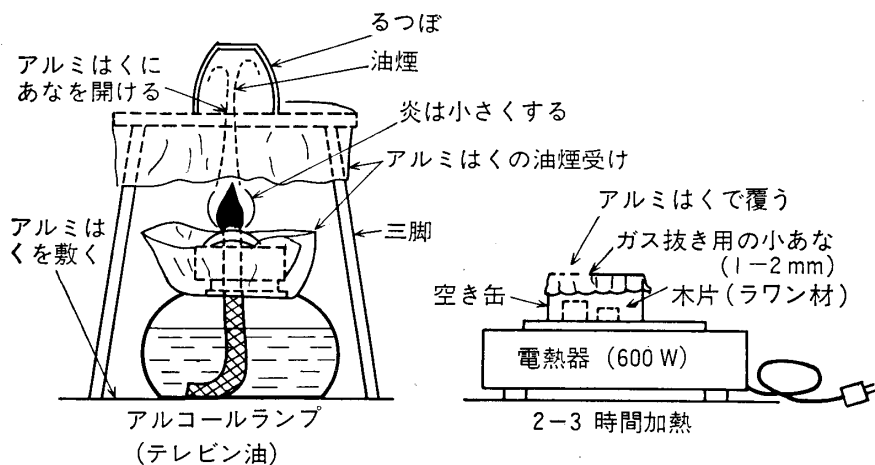


図1 油煙の調製。

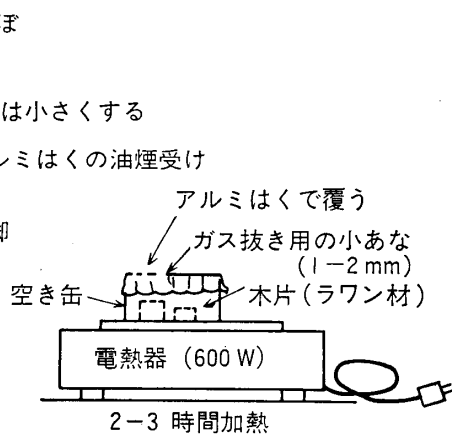


図2 木炭の調製(炭焼き)。

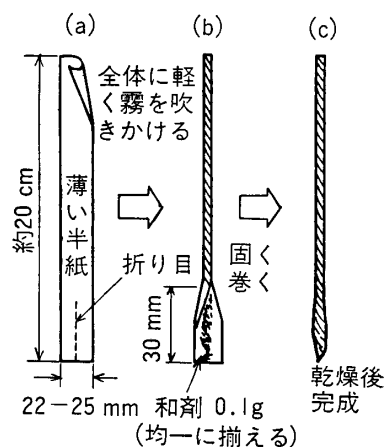


図3 線香花火の製作。

るつば、薬さじ、600 W 電熱器、金属製空き缶（容量 80 ml 以上、蒸発皿でも可）、ラワン材小片約 10 g、化学天秤、薬包紙、チャック付きポリ袋（C4）、乳鉢、霧吹き、はさみ、物差し、半紙（強靱で薄い紙質の和紙。例えば美濃半紙）、マッチ、ドライヤー。

## 操 作

### (1) 油煙(スス)の調製\*

図 1 のように器具を組み合わせる。油煙が飛散してもよい場所で調製を行う（ドラフト内や無風の屋外でもよい）。アルコールランプにはテレピン油を入れ、安全のため、芯を小さくして徐々に燃焼させる（10—15 分間）。放冷後、油煙を採取する（収量は 15 分で約 0.2 g である）。

### (2) 木炭の調製

図 2 のように広口の空き缶を使い、木片は塊のまま約 10 g 入れる。調製はドラフトの中で行う方がよい。アルミはくにはガス抜き用に 1—2 mm の小孔を開ける。電熱器で 2—3 時間加熱すると完全に炭化する。木炭はよく放冷した後取り出す（適正な収炭率は約 15% である）。

### (3) 和剤の調合

あらかじめ乳鉢で粉碎、微粉末とした  $\text{KNO}_3$  0.55 g、硫黄 0.25 g、木炭（表面の灰を除く）0.15 g、油煙 0.05 g を秤量して、チャック付きポリ袋の中へ入れる。これをよく振って混合し、和剤とする\*<sup>1</sup>（乳鉢の中で和剤を混合・粉碎しないこと\*<sup>2</sup>）。

### (4) 線香花火（1 本分）の製作

①半紙を幅 22—25 mm、長さ約 20 cm の短冊状に切る（図 3（a））。②全体に霧を軽く吹きかけ、図 3（b）のとおり先端から 3 cm を残してこよりにする。③残りの部分に和剤 0.08—0.1 g を静かに乗せ、縦一列（二つ折りにするとよい）に均一に揃える。④図 3（c）のとおり固く巻く（紙が破れないように、しかもきれいに巻くのがコツである）。⑤ドライヤーで乾燥すれば出来上りである。

以上の方法で製作した線香花火の取扱い方は市販のものと同様であるが、燃焼実験の際、火球に目を近付けないように特に注意する。

## [実験 II ( $\text{KNO}_3$ を使わない線香花火)]

### 準 備

29 本分の花火を作るのに必要なものを示す。

**薬品**：無水炭酸カリ 1.8 g ( $\text{K}_2\text{CO}_3$  500 g, 1100 円)、硫黄 0.9 g、油煙 0.1 g、木炭 0.3 g。

**器具**：乳鉢、薬さじ、薬包紙、天秤、デシケーター（シリカゲル）、半紙(前述)、霧吹、ドライヤー、はさみ、物差し、マッチ、ろうそく（アルコールランプでも可）、チャック付きポリ袋（C4）。

### 操 作

#### (1) 和剤の調合

$\text{K}_2\text{CO}_3$  1.8 g、硫黄 0.9 g、木炭 0.3 g、油煙 0.1 g を秤量し乳鉢で粉碎・混合する。和剤はポリ袋へ入れデシケーター中で保存する。

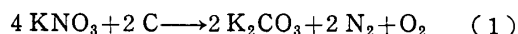
#### (2) 線香花火（1 本分）の製作

作り方は**実験 I**（4）と同様であるが、 $\text{K}_2\text{CO}_3$  は吸湿性なので和剤に直接霧をかけないように注意する。

以上の方法で製作した線香花火は火薬を使用していないので火気に注意する必要はない。しかし、火花を出すためにはろうそくの酸化炎<sup>あぶ</sup>で焙り、加熱しなければならぬ。すなわち、花火の薬頭の先端をろうそくの外炎で徐々に火球ができるまで加熱する。

### 解 説

線香花火の燃焼のリズムを**写真 1**に示す（火花の形は寺田寅彦の随筆の表現に従った）。**実験 I**と**実験 II**からわかるが、酸化剤の  $\text{KNO}_3$  は 850 °C<sup>2)</sup> 付近まで昇温させるために使われるにすぎない。火球の主成分は熔融硫肝（多硫化カリウム  $\text{K}_2\text{S}_n$ ,  $n=2$  または 3）である。火球のできる反応の概略（燃焼反応は複雑であるが、簡単にまとめた）を次に示す。 $\text{KNO}_3$  は硫黄よりも炭素と反応しやすい。



反応時 C や S の酸化反応も並行して進み（一部 S と  $\text{KNO}_3$  から  $\text{K}_2\text{SO}_4$  が生成する）多量の熱が発生する。この熱で、生成した  $\text{K}_2\text{CO}_3$  は S と反応して硫肝を生成<sup>3)</sup>する（硫肝の生成は**実験 II**でもわかる）。

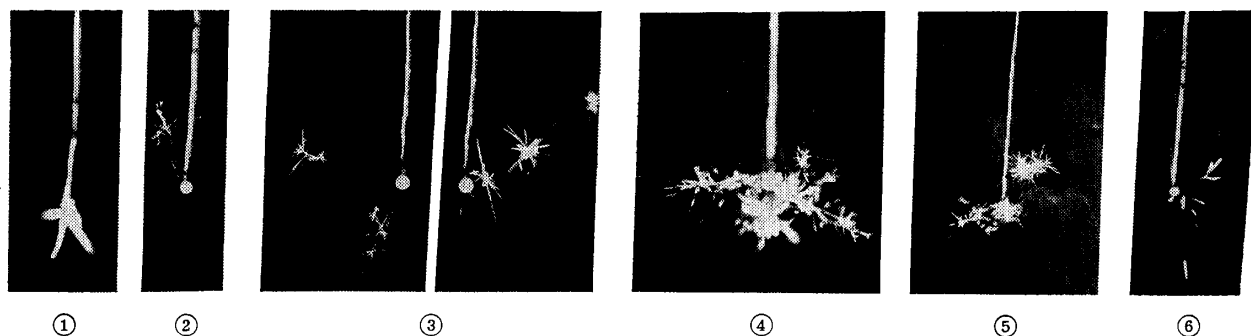
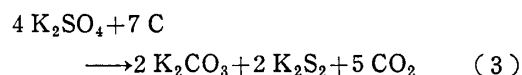
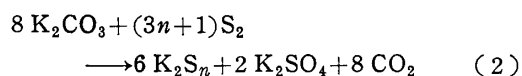


写真 1 手作り線香花火の燃焼のリズム。

①点火：端面燃焼「ぼたん」、②火の球の形成と火花の放出開始、③火花の放出「松葉」、④火花の急激な放出、⑤「散り菊」、⑥フィナーレ。実験Ⅰ①—⑥、実験Ⅱ②—⑥。



火花が出る時、 $\text{CO}_2$  が噴出する音がする。硫肝が空気中の酸素を吸収することは古くから知られているが、燃焼残物を含む溶融硫肝は空気の熱対流の上昇気流によって巻き上げられて火球を形成する。溶融硫肝は次の火花を発生する反応の媒体となる。油煙は、温度の制御<sup>4)</sup>と火球が落下しないように密度の軽減の役割を果たす<sup>5)</sup>。

火花が出るのは木炭や油煙が石墨微結晶の集合体だからであると筆者は考える<sup>6)</sup>。すなわち、溶融硫肝中では石墨微結晶の縮合と分解が起こっていると考える。石墨微結晶は多量のカリウムの存在により層間が大幅に拡張する。これに火球がおこす空気の熱対流から酸素の供給を受けて石墨の活性部分が酸化し ( $\text{CO}_2$  の発生。共有結合性も失う<sup>6)</sup>)、硫肝に包まれて火球より飛び出し、さらに酸化を受けて爆跳、火花となる(カット)。火花の形は石墨微結晶の大きさとひずみによるところが大きい。木炭の代わりに電極用の炭素棒や通電性のある木炭(紀州備長炭など)の炭粉では結晶の成長度が大きくほとんど火花を放出しない。また、砂糖炭の場合の火花は勢いがなく、あまり分岐しない松葉火花を出すのみである。これは石墨の結晶度が低いためと考える。

\*1  $\text{KNO}_3$  を含む和剤は一度に 5g 以上調合しないこと。また、密閉した硬質の容器中で保管しないこと。

\*2 指導上、特に注意を喚起するために行う。

\*3 油煙のきれいな調製法はさらに工夫が必要である。機会があれば調製法を再報告したい。

以上のことは、一般に無定形炭素と呼ばれている一連の石墨微結晶群<sup>7)</sup>の物性の違いを示すものである。

時間	準備・実験に要する時間	実験Ⅰ・Ⅱとも 4時間
難易	教師が実験をする場合 生徒が実験する場合	難しい/○やさしい 難しい/○やさしい
費用	1回の実験に要する消耗品の値段	1本約1円

#### 文 献

- 1) 小勝郷右, “花火一火の芸術”, 岩波新書 (1983), p. 24.
- 2) 中谷字吉郎, 関口 譲, 理研彙報, 6, 1083 (1927).
- 3) 清水武夫, 工業火薬協会誌, 18, 359 (1957).
- 4) W. D. Erickson, G. C. Williams, and H. C. Hottel, *Comb. & Flame*, 8, 127 (1964).
- 5) 伊藤秀明, 化学と教育, 「線香花火の実験的考察」投稿中.
- 6) 井口洋夫, 佐野瑞香, “化学増刊 87 合成金属”, 化学同人 (1981), p. 127.
- 7) 千谷利三, “新版無機化学”, 産業図書 (1986), p. 454.

Simple Preparation of Japanese Toy Firework 「Senkō hanabi」.

Submitted by Hideaki ITO 東京大学文部技官 (理学部化学教室)

提案者紹介 【経歴】1982年横浜国立大学工学部卒業, 1975年から現職。【専門】応用化学。【趣味】岩石・鉱物・結晶の収集と採集。【連絡先】113 東京都文京区本郷 7-3-1 (勤務先)。



Checked by Masahiko MIYAMOTO 光塩女子学院中・高等科教諭  
【連絡先】116 東京都杉並区高円寺南 2-33-28 (勤務先)。