





安息香酸カリウムの空気中の加熱時の反応として(1)式を推定した。

また、過塩素酸カリウムの620℃における重量減少率は47wt%で、(2)式による計算値とよく一致した。



### 3. 2 安息香酸カリウムと過塩素酸カリウム混合物(笛薬)の熱的性質

笛薬のDTA, TG 曲線を Fig. 2 の(c)に、熱的状态変化をホットサーモカップル装置で観察した結果を Fig. 3 に示す。笛薬は、加熱前の 25℃では白色粉体(a)である。DTA 曲線では、390℃付近に吸熱ピークが認められた。ホットサーモカップルの観察では、笛薬は 390℃で融解し始め(b), 400℃で笛薬は完全に融解した(c)。410℃では笛薬は黒変し(d), 泡立ちながらフィラメント全体に融解した笛薬が広がり(e), 直後に体積膨張した(f)。TG 曲線では、410℃で若干の重量減少が認められたのち、30%の重量増加が認められた。また、430℃に大きな発熱ピークが認められ、試料皿が吹き飛んだため、100%以上の急激な重量減少が認められた。さらに、同温度付近で、笛薬は火柱を上げて激しく爆発した(g)。この際、同温度で笛薬は発音し、同時に発煙も認められた。また、鳴笛現象観察後の筒中の加熱残留物の粉末 X 線回折結果より、

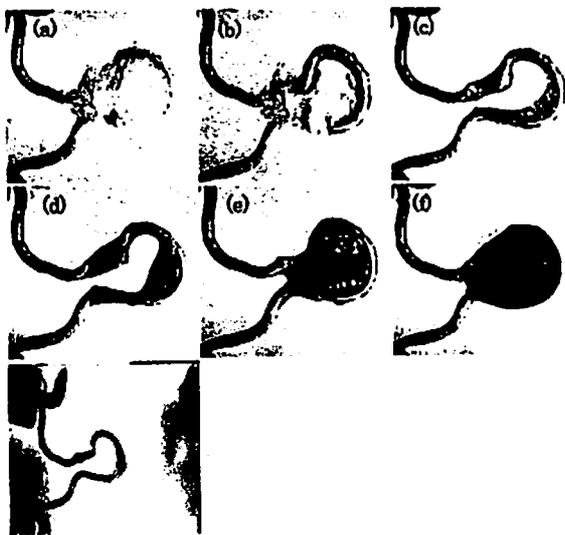
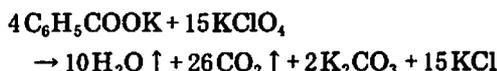


Fig. 3 Observation by microscope photos of mixtures of potassium benzoate with potassium perchlorate on heating at (a) 25°C, (b) 390°C, (c) 400°C, (d), (e), (f) 410°C and (g) 430°C  
Composition;  $\text{C}_6\text{H}_5\text{COOK}:\text{KClO}_4=5:5$  (by wt.)  
Sample weight; 2mg, atmosphere; in air,  
heating rate; 100°C/min

炭酸カリウムと塩化カリウムが定性できた。以上の結果と、3.1の安息香酸カリウム、過塩素酸カリウム単品および混合物の熱分析結果より、笛薬の反応はつぎのように進行するものと推定した。



量論比を重量比に換算すると、安息香酸カリウム 23.5 に対して過塩素酸カリウム 76.5 であった。この混合比は実際の煙火の笛薬組成とほぼ一致する。

### 3. 3 笛音と笛薬混合比の関係

量論比付近で、混合比を変えた笛薬の発音状況を Table 1 に示す。笛薬を入れた紙筒は、直径 1.2cm, 筒長 6.0cm のもの (Table 1 a) と、直径 0.9cm, 筒長 5.7cm のもの (Table 1 b) を使用した。笛音を出した混合系は重量比で安息香酸カリウム : 過塩素酸カリウム = 4 : 6, 3 : 7, 2 : 8 であった。これらの混合比は、実際の笛薬組成より幅広いことがわかった。(a)の筒を使用した場合、笛音の周波数は 2300~2525Hz であり、(b)の筒を使用した場合、笛音の周波数は 2500~2800Hz であった。また、(a)の筒を使用した場合、笛音の音圧は 90ないし 100dB であり、(b)の筒を使用した場合、笛音の音圧は 95dB 以上 110dB 未満であった。したがって、体積が小さい筒から出る笛音の方が高音かつ大音量であった。以上の混合比以外の笛薬は、ほとんどわずかにしか笛音を出さないか、全く笛音を出さなかった。

### 3. 4 笛薬の線燃焼速度とガス発生速度

混合比の差異による笛音の有無について、原因を検討する目的で、混合比を変えた笛薬について線燃焼速度測定を行い、ガス発生速度を計算した。過塩素酸カリウムの混合割合と線燃焼速度の関係を Fig. 4 の(a) に示す。直径 1.2cm, 筒長 6.0cm の紙筒を使用した場合と直径 0.9cm, 筒長 5.7cm の紙筒を使用した場合のいずれも、過塩素酸カリウムの混合割合が増加するにつれて安息香酸カリウム : 過塩素酸カリウム = 2 : 8 混合比まで線燃焼速度は大きくなる傾向が認められた。さらに、過塩素酸カリウムを加えた場合 (安息香酸カリウム : 過塩素酸カリウム = 1 : 9 の笛薬) は線燃焼速度が小さくなる傾向が認められた。

また、量論比の笛薬 5g を直径 1.2cm, 筒長 6.0cm の紙筒に入れた場合、笛薬の燃焼温度は 700~900℃, 燃焼時間は約 3.5 秒であった。

したがって、3.2の笛薬の反応式と燃焼速度測定結









析や笛音測定などから、以下のことがわかった。

- (1) 笛葉が笛音を出す混合比は、安息香酸カリウム：  
過塩素酸カリウム=2:8, 3:7, 4:6(重量比)の  
場合であった。また、笛葉が笛音を出す条件は線  
燃焼速度が0.4cm/secかつガス発生速度が1500  
cm/sec以上であった。
- (2) 笛音の基本周波数は2kHz付近であり、基本音に  
対し、倍音が発生していた。また、笛音の周波数  
と筒の長さは反比例した。したがって、笛音は筒  
の共鳴により発生するものと考えられる。
- (3) 筒材を変化させても笛音の周波数と線燃焼速度は  
ほとんど変化しなかった。しかし、音圧は紙筒で  
100dB未満であったが、アルミニウム、ガラス、  
塩化ビニルを筒に使用することで110dB前後に大  
きくなった。

#### 謝 辞

本研究を行うに当たり、笛葉の調整法について助言  
をいただいた飯村製作所の皆様と、笛音発生実験にご  
協力いただいた日本煙火協会の畑中修二氏に心から感

謝します。

#### 文 献

- 1) W. R. Maxwell, "Pyrotechnic Whistles", Fourth  
Symposium (International) on Combustion, p37  
(1952), The combustion Institute, Williams and  
Wilkins, Baltimore, Md.
- 2) 日本化学会編, 「改訂3版 化学便覧 基礎編I」,  
P. 140(1984), 丸善
- 3) 鹿児島誠一著, 「振動・波動入門」, p. 43, p. 176  
(1992), サイエンス社
- 4) 牧田康雄編著, 「現代音響学」, p. 88, p. 214,  
p. 269(1976), オーム社
- 5) 唐澤誠著, 「音の科学ふしぎ事典」, p. 76(1997),  
日本実業出版社
- 6) 小橋豊著, 「音と音波」, P. 107, P. 182(1973),  
裳華房
- 7) 小暮陽三著, 「入門ビジュアルサイエンス 物理の  
しくみ」, P. 32(1992), 日本実業出版社



