

爆鳴気の燃焼現象に関する研究

○村上昌之（熊本大学 大学院 自然科学研究科 機械システム工学専攻）

伊東繁（熊本大学教授）

1. 緒言

近年、地球環境の悪化、化石燃料の枯渇に伴い、再生可能エネルギーへの期待が高まっている。その中でも特に水素は、現在の燃焼機関にそのまま応用することが可能であること、燃料電池により、非常に高い効率で電力へ変換可能であること、そして、貯蔵することが可能なクリーンエネルギーであることなどの利点から注目されている。この水素エネルギー利用の課題とされているのが、水素を安全に貯蔵する技術の確立である。

本研究は、水素と酸素を任意の割合で混合させた気体を、温度、体積量を変化させて燃焼させ、その挙動を高速度ビデオカメラで撮影し、それぞれの要因が燃焼に及ぼす影響を評価するものである。

2. 実験

2.1 爆鳴気について

水素は、空気中では 527°C で発火し、 90m/s の速度で燃焼する。しかし、水素と酸素の割合が $2:1$ の時は、 450°C で発火し、 $1400\text{--}3500\text{m/s}$ の速度で燃焼する。この爆発的な燃焼現象は特に爆鳴気と呼ばれている。

この現象では、燃焼速度が音速を超えるため、衝撃波を伴い燃焼する。

2.2 高速度ビデオカメラについて

Fig.1 に高速度ビデオカメラ HyperVision HPV-1 を示す。この高速度ビデオカメラは撮影速度 100 万コマ/秒という超高速撮影を実現したも

のである。一度の撮影で最大 100 枚の写真を撮影可能である。



Recording speed : 30fps - 1Mfps

Frame storage : 100frames

Fig.1 HyperVison HPV-1

2.3 実験方法

高速度ビデオカメラを用いて、爆鳴気の燃焼現象を光学観測するための実験方法を説明する。

水素と酸素の混合気体を注入する PMMA 容器を Fig.2 に示す。この容器は点火のためのフィラメントと導線、観測のスイッチのための光ファイバーで構成されている。

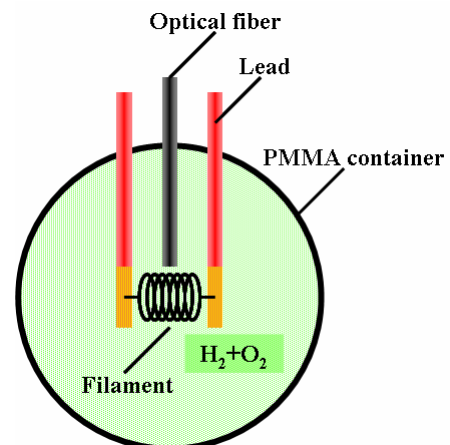


Fig.2 Detonation gas container

実験装置の全体図を Fig.3 に示す。まず、水上置換法により、PMMA 容器に混合気体を注入する。その後、電源装置から導線を経て、フィラメントに電流が流れ、加熱される。水素と酸素の混合気体の発火温度に達すると、燃焼が始まり、発光する。その光を光ファイバーで捉え、光信号制御装置を介して、高速度ビデオカメラへと撮影開始の信号が届く構成となっている。また、今回撮影方法は、混合気体の燃焼による自発光のみを撮影した。

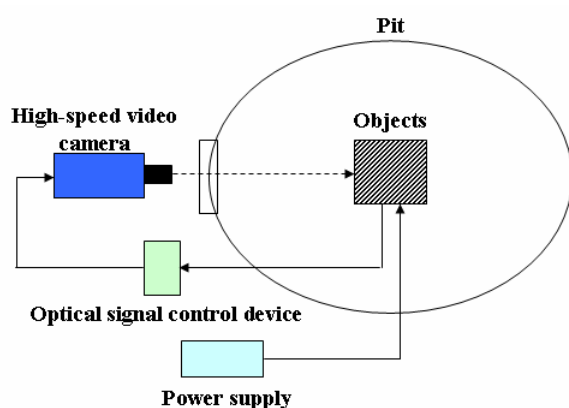


Fig.3 Experimental devices

2.3 実験結果

高速度ビデオカメラを用いた爆鳴気の燃焼現象の光学観測結果を示す。

容量が 100cc の立方体に $H_2:O_2=1:1$ の割合で混合気体を注入し、燃焼させたときの写真を Fig.4、Fig.5 に示す。

Fig.4 は倍率×400、シャッター間隔 $64\mu s$ で撮影したものである。 $0\mu s$ でフィラメントと近傍で点火し、 $64\mu s$ では乱流燃焼を引き起こしているのがわかる。そして、 $128\mu s$ 、 $192\mu s$ と時間の経過にしたがい、燃焼は進行していく。

Fig.5 は倍率×1200、シャッター間隔 $64\mu s$ で撮影したものである。この写真では、輝度を調節することにより、水素と酸素の燃焼の炎の形状のまで確認できる。時間の経過に伴い、徐々に炎の形状が大きくなっているのがわかる。

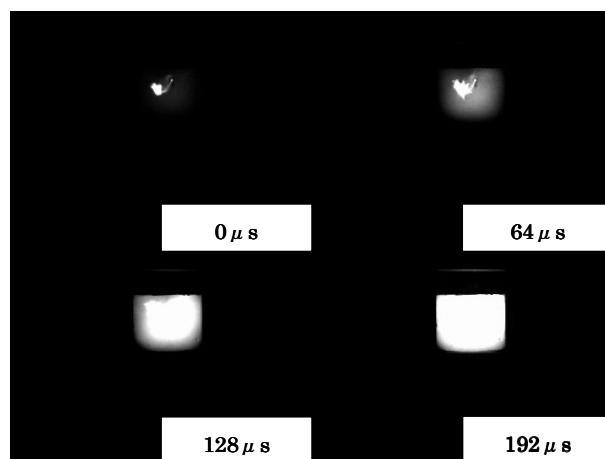


Fig. 4 Combustion of detonation gas

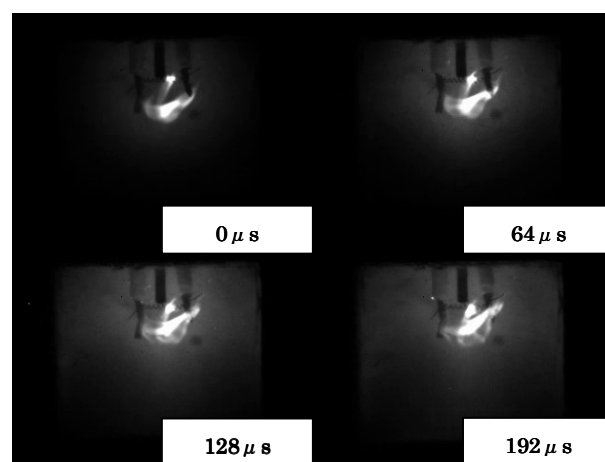


Fig. 5 Flame of detonation gas

3. 考察

現状では、水素と酸素の混合比 1:1 の場合の、自発光のみの観測しか行っていない。この写真からでは、燃焼部と非燃焼部の境界があいまいなため、燃焼速度の特定が困難である。

今後は、様々な条件化での燃焼速度を求めるために、まず、密度変化を明暗で表すことができるシャドウグラフ法と呼ばれる方法を用いて実験を行う。その上で、体積変化、形状変化、温度変化などの、環境変化パラメータを与えて、燃焼速度と気体の膨張速度の特定を行う。