Experiment of Flame Propagation in a Straight Vortex Tube

○学 道上 智史 (名工大)
学 野村 俊幸 (名工大)

学 後藤 大輔 (名工大)
正 長谷川 達也 (名工大)

Satoshi MICHIKAMI, Nagoya Institute of Technology, Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya-shi, Aichi
Daisuke GOTOU, Toshiyuki NOMURA, Tatsuya HASEGAWA, ibid.

1. 緒言

渦と予混合火炎の相互作用には大別して2つの形態がある。1つは渦の軸が火炎に平行な場合、もう1つは渦の軸が火炎に垂直な場合である。実際の渦と予混合火炎の相互作用はそれらの組み合わせであると考えられる。本研究では渦の軸が火炎に垂直な場合について、実験的な模擬を行った。

本研究では高速で移動するピストンを利用し、水素-空気予混合気中に単一の強い渦対を生成した。

渦対は2本の直線渦管からなるが、その一方の渦核中心をArFエキシマレーザで着火⁽¹⁾し、着火後の火炎の挙動を高速シュリーレンシステムにより観察した。

本研究の渦管内火炎伝播の特徴は次のようである。

- (1) 予混合気中に予混合気の渦管を形成しているので、気や窒素による希釈がない。
- (2) 渦管の内部においてのみ火炎伝播がおきている。
- (3) 渦輪でなく、理論解析と同様の直線渦である。
- (4) 乱流渦に移移する前の状態の渦である。
- (5) レーザ着火であるので流れをあまり乱さない。

2. 実験装置及び方法

Fig.1に本研究に用いた実験装置の概略を示す。装置は渦対発生装置、燃焼容器、燃料混合容器、着火に用いるエキシマレーザおよび光学系などからなる。

本実験での渦対発生にはピストンを用いた。ピストンは燃焼容器と渦対発生装置を仕切るように設置されており、気密性を保つためにピストン外周には2本のOリングがはめ込まれている。ピストンの駆動は窒素を充填した高压室と低压室を仕切るポリエステルフィルムを破膜して行われる。

ピストンを駆動することにより、ノズル内の予混合気を押し出し、燃焼容器内に予混合気で形成された単一の渦対

を発生させる。Fig.2に燃焼容器内の詳細図を示す。ノズル出口の断面形状は30 mm × 6 mmである。矩形ノズルから発生する渦は側壁がないとすぐに3次元的になるため⁽²⁾、ノズルをはさむように合成石英ガラス製のガイドを取り付けた。この結果、2次元性の良い渦対を発生することができた。渦対の強さは高压室と低压室の圧力比によって決定される。渦核最大周速度はPIV法を用いて測定する。

本研究ではレーザ着火光源に波長193nmのArFエキシマレーザを用い、焦点距離100mmの片凸レンズでレーザ光を焦点に結ばせている。193nm付近の紫外光は酸素分子のShumann-Runge吸収帯の端に存在するため⁽³⁾、空気中を通過するレーザ光は空気中の酸素分子の吸収により強度が低下することが報告されている⁽⁴⁾。そこで光路変更用反射鏡の間の光路に窒素でパージされた管を設置した。

3. 結果及び考察

3.1 渦管内火炎伝播

当量比1.0、初期圧力0.10 MPaの水素-空気予混合気を用いたときの、静止気体中および渦管中を伝播する火炎の様子をFig.3(a), (b), (c)に示す。(a), (b), (c)ともレーザ照射エネルギーは約20 mJ、着火位置はノズル先端から約9 mm離れた位置である。(b), (c)それぞれの渦核最大周速度は18.0 m/s, 35.8 m/sである。写真下の時間はレーザ照射からの遅延時間を示す。また、左右の視野はノズル先端からその下流35 mmで、上下の視野はノズル上下にとりつけたガイドの幅30 mmである。

Fig.3(a)では、光路方向に長い楕円球形の火炎が観察される。Fig.3(b)および(c)では、火炎は渦管の回転軸方向(図の上下方向)に伸びており、紡錘状の形をしている。また0.25 ms以降において、(b)では火炎先端が丸いが、(c)では先端がとがっていることがわかる。これは渦核最大周速度の違いによるものと考えられる。以上のように、渦管内火炎伝播の挙動は、静止予混合気中の火炎伝播とは全く異なった挙動を示し、渦管の最大周速度にも左右される。

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Fig.2 Configuration of nozzle and laser beam

3.2 火炎伝播速度と渦核最大周速度との関係

Fig.3 のシュリーレン連続写真から各時刻における火炎の渦管軸方向と半径方向の長さを計測し、その半径の時間変化を求めた。軸方向の半径を r_a 、半径方向の半径を r_r と表すと、その時間変化は Fig.4 のようになる。比較のために、静止予混合気中を伝播する火炎の等価球半径 r_e の時間変化も Fig.4 に示す。プロットしてある点はいくつかの実験で得られた写真から測定された値の平均値を示している。この図から、渦管軸方向の火炎半径は 0.15 ms までは緩やかに増加し、それ以降は急激に増加していることがわかる。一方、渦管半径方向の火炎半径 r_a は増加しているものの、軸方向の火炎半径と比べて増加率はかなり小さい。また等価球半径 r_e の時間変化に比べても若干小さくなっている。

0.20~0.30 ms において、最小二乗法により平均火炎伝播速度を求めると、軸方向は $u_{\theta m}=18.0$ m/s のとき 25.1 m/s, $u_{\theta m}=35.8$ m/s のとき 52.8 m/s である。つまり周速度が速くなるほど火炎伝播速度も速くなる。一方半径方向の平均伝播速度には周速度の違いによる影響は見られない。渦管の半径方向の伝播速度が等価球の伝播速度よりも小さいのは、軸方向の膨張が急激なため渦管の半径方向の伝播が抑制されたからだと考えられる。

4. 結言

ArF エキシマレーザ着火によって水素-空気予混合気中の直線渦管内火炎伝播を実現し、伝播の挙動や速度を調べた。火炎は渦管の回転軸方向に伸びていき、その平均伝播速度は渦核最大周速度の増加とともに大きくなる。

謝辞

本研究の一部は(財)谷川熱技術振興基金(平成9年度)の助成を受けて行われた。ここに感謝の意を表する。

Fig.4 Evolution of flame size

参考文献

- (1) 古谷・ほか 2 名, 機論(B 編), 61-590, (1995), 3470-3476.
- (2) 井上, 木谷, 乱れと波の非線型現象, (1997), 164-169, 朝倉書店.
- (3) Lee, M.P. and Hanson, R.K., *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, (1986), 425-440.
- (4) 古谷・ほか 4 名, 第 34 回燃焼シンポジウム講演論文集, (1996), 666-668.

Fig. 3 Flame propagation in a quiescent mixture and in a vortex tube