

309 超希薄プロパン：空気混合気の不安定 火炎伝ぱに関する研究

天内, 将 / KAWAKAMI, Tadashige / AMANAI, Sho / 川上, 忠重

(出版者 / Publisher)

日本機械学会北海道支部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

北海道支部講演会講演概要集 / 北海道支部講演会講演概要集

(号 / Number)

43

(開始ページ / Start Page)

102

(終了ページ / End Page)

103

(発行年 / Year)

2003-09-28

309 超希薄プロパン-空気混合気の不安定火炎伝ばに関する研究

A study of the irregular flame propagation of the extremely lean propane-air mixture

○学 天内 将 (法政大) 正 川上 忠重 (法政大)

Sho Amanai, Faculty of Engineering Hosei University, kajino-cho 3-7-2, Koganei, Tokyo

Tadashige Kawakami, Faculty of Engineering Hosei University, kajino-cho 3-7-2, Koganei, Tokyo

Key Words : Microgravity, Cellular flame, Flame propagation limit

1. 緒論

燃焼による熱エネルギーを有効かつ安全に利用するためには、燃焼に対する広い知識が必要である。現在、地球規模での環境問題の観点から、自動車用エンジンをはじめとする内燃機関には、環境汚染物質 ($\text{NO}_x, \text{SO}_x, \text{CO}$ など) の低減や省エネルギー化が求められ、それらに有効な手法として希薄燃焼技術が開発され、実用化されている。しかしながら、希薄領域における燃焼は、着火性の低下、火炎温度の減少、不安定火炎の発生など、多くの問題点を含んでおり¹⁾、希薄領域における燃焼特性の詳細かつ正確な把握が必要である。また、通常重力下における希薄燃焼は浮力の影響を著しく受けるため、正確な燃焼特性の把握が非常に困難であり、微小重力環境の利用は必要不可欠である^{2),3),4)}。

そこで本研究では、通常重力場および微小重力場を利用し、管内進行火炎伝ば法を用いて希薄領域におけるプロパン-空気混合気の燃焼特性を把握するために、火炎伝ば限界近傍における両重力環境下での火炎面形状、火炎伝ば速度および火炎到達距離、また通常重力下においては火炎伝ば方向と点火エネルギーのそれらにおよぼす影響について検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

Fig.1 に本研究における実験装置本体の概略を示す。その寸法は幅 600 mm×奥行き 410 mm×高さ 230mm で、本体にはアクリル製燃焼管(管内径 70 mm、長さ 400 mm)、8mm ビデオカメラ、点火装置、遅延回路及び点火用バッテリー等が搭載されている。燃焼管の両端には ABS 樹脂製の栓が設けてある。点火端側の栓には、燃料注入用および吸気用バルブ、点火装置 (ニクロム線) が、そして他端には排気用バルブが設けられている。また、通常重力下における上方および下方火炎伝ばの測定には、鉛直方向に立てたアクリル製燃焼管(管内径 50mm、長さ 1000mm)を用いた。希薄混合気は体積流量計を用いて作成し、実験は室温、大気圧の下で行った。燃料は炭化水素燃料の代表例として、純度 99.9%のプロパン (C_3H_8) を使用した。

本研究で用いられた落下塔は高さ約 5 m (有効落下距離約 4 m) で、空気抵抗遮断箱内に実験装置を配置し、実験装置と空気抵抗遮断箱を同時に自由落下させることにより、約 0.9 秒の微小重力時間を実現することができる。

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に本実験で得られた通常重力下における上方向、下方向火炎伝ばの火炎面形状の代表例を示す。この図から明らかなように、上方火炎伝ばは浮力の影響を受け中央部分が持ち上げられた形状となり、また下方伝ばは浮力の影響により火炎面がほぼ平面の火炎形状が観察された。Fig.3 に本実験で得られた通常重力下および微小重力下における水平方向の火炎伝ばでの火炎面形状の代表例を示す。この図から明らかなように、通常重力下で火炎は浮力

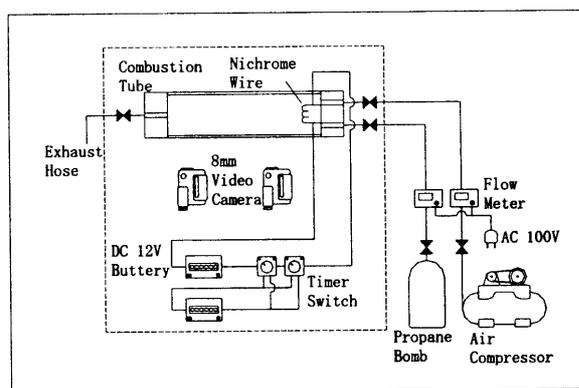
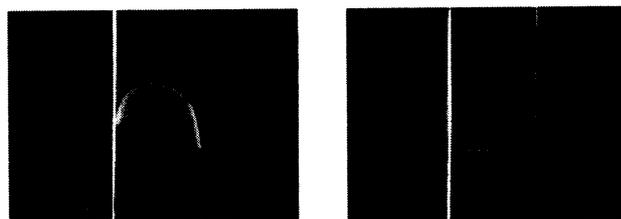
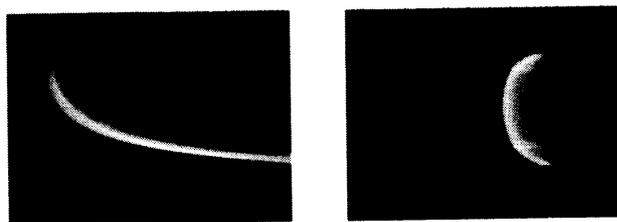


Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus



(a) Upward propagation (b) Downward propagation

Fig.2 Flame propagation behavior ($\phi=0.52$)



(a) Normal gravity ($\phi=0.30$) (b) Microgravity ($\phi=0.50$)

Fig.3 Horizontal propagation

の影響により著しく上方向に持ち上げられながら伝ばしているのに対し、微小重力下では浮力の影響を受けないため、火炎は燃焼管中心軸に対して放物線状のほぼ対称形を呈している²⁾。

Fig.4 に微小重力環境下で観察されたセル状火炎 (不規則火炎) の火炎伝ば挙動の代表例を示す。この図から明らかなように点火直後、火炎は先端を複数に分割された状態で形成され、火炎伝ばの進行に伴い、分割された火炎の成

長に差異が発生し、一部の大きな火炎が周りの小さな火炎を吸収し、最終的に一つの火炎面に近い火炎形状を形成して伝ばしている様子がわかる。微小重力環境においては、自然対流の影響を受けないため、点火直後の火炎形状をほぼ維持しながら火炎伝ばの進行が観察されると思われたが、火炎伝ばの進行に伴って火炎形状に差異が発生した点は興味深い。また、本実験範囲において、微小重力環境下での当量比 $\phi=0.4\sim 0.5$ の範囲におけるセル状火炎発生率は、約 50~75%と高い割合であったが、当量比 $\phi=0.3$ ではほとんどセル状火炎は観察されなかった。今後、火炎面先端付近でのセル状火炎の相互干渉効果の影響およびセル発生確率についても詳細に行う予定である。

Fig.5 に本実験で得られた通常重力下および微小重力下における希薄限界近傍での火炎伝ば速度を示す。この図から明らかなように、両重力下において当量比の減少に伴って火炎伝ば速度は単調に減少し、また、微小重力下での火炎伝ば速度は通常重力下でのそれに比べてどの希薄領域においても約 30~50%減少している。これは自然対流による浮力の影響によるものと考えられ、また微小重力環境で得られた各当量比での火炎伝ば速度は、球状火炎伝ば法で得られた値とほぼ一致している⁵⁾。

Fig.6 に本実験で得られた当量比に対する火炎到達距離（点火端からその距離までは各条件において火炎伝ばが可能であり、その伝ば点で消滅した火炎も含む）を示す。この図から、明らかなように、両重力下における火炎伝ば距離は大きく3つの領域に分類することができる。その領域は、領域Ⅰ：両重力環境において、どの当量比においても1500mm以上の伝ばが観察可能な領域、領域Ⅱ：当量比、伝ば方向などの影響によりある特定の火炎伝ば距離が観察できる領域、領域Ⅱ'：微小重力下においてのみ火炎伝ばの進行が可能な領域、Ⅲ：両重力環境においても、火炎伝ばの進行が観察できない領域である。すなわち、領域ⅡおよびⅡ'においては微小重力環境を積極的に利用することにより、超希薄領域での燃焼利用の可能性が示唆される。また通常重力下における火炎到達距離と点火エネルギーの関係は、各方向への伝ばにおいても大きな差異は見られなかった。

4. 結論

本研究では超希薄プロパン-空気混合気の火炎伝ば限界近傍での燃焼特性を把握するために、管内進行火炎伝ば法を用い、通常重力下および微小重力下で実験を行い、以下の結果を得た。

- 1) 通常重力下においては、伝ば方向により火炎面形状、火炎伝ば距離に著しい差異が発生する。
- 2) 超希薄プロパン-空気混合気を用いた場合には、微小重力環境においてもセル状火炎が発生する。
- 3) 超希薄プロパン-空気混合気の微小重力下におけるセル状火炎発生率は、各当量比によって差異がある。
- 4) 火炎到達距離を詳細に検討することにより、火炎伝ば領域を分類することが可能である。

参考文献

- 1) 新岡嵩ら、燃焼現象の基礎、(2001)、オーム社
- 2) 川上・岡島 他2名、機論(B)、64-626、1998、357-362
- 3) 川上・岡島 他1名、機論(B)、67-656、2001、215-219
- 4) 大矢真琴、修士論文、(2000)、1、法政大学工学部
- 5) Irvin Glassman, COMBUSTION, (1987), 137-139, ACADEMIC PRESS, INC.

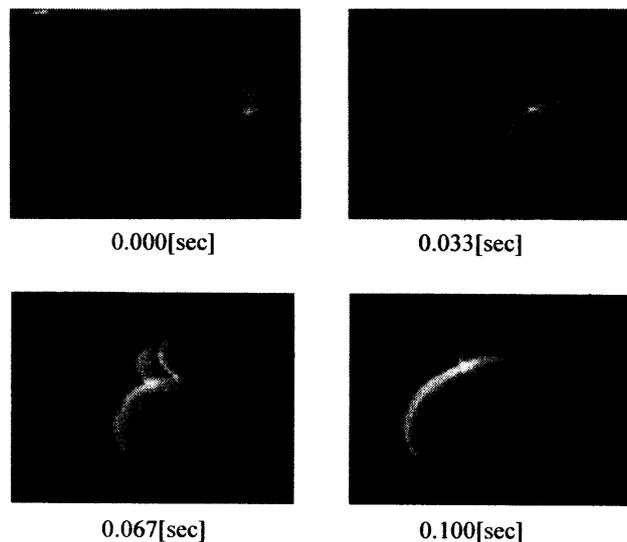


Fig.4 Cellular flame (microgravity, $\phi=0.4$)

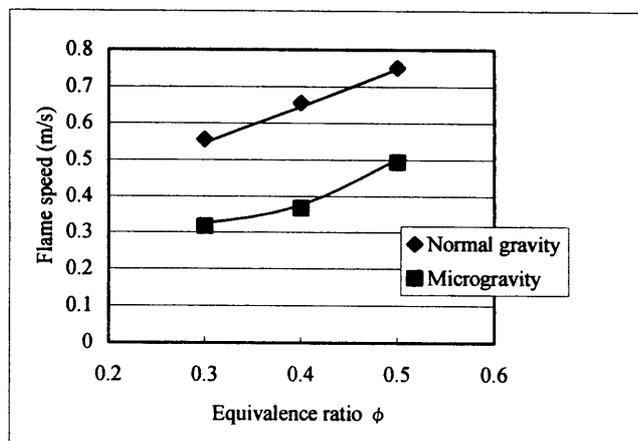


Fig.5 Flame speed under normal gravity and microgravity

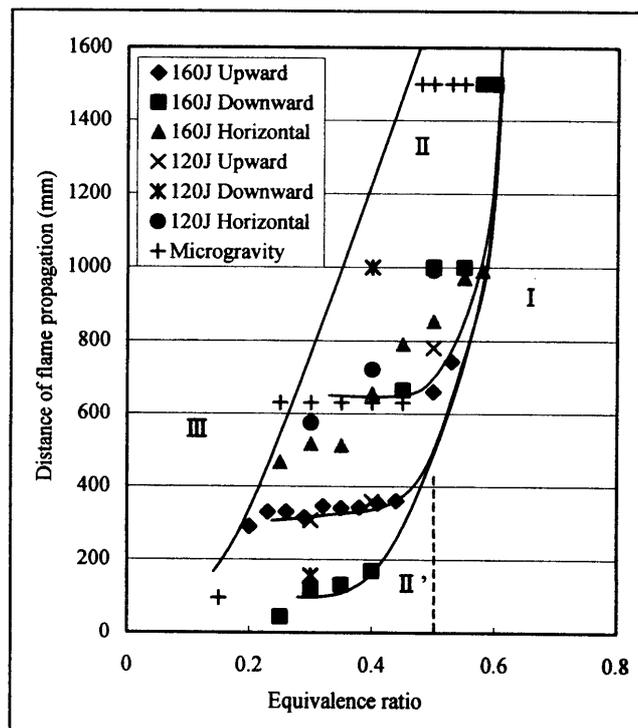


Fig.6 Distance of flame propagation