

管内進行火炎を用いた超希薄炭化水素-空気混合気の燃焼特性について(燃焼1, 熱工学部門一般講演)

KAWAKAMI, Tadashige / 川上, 忠重

(出版者 / Publisher)

日本機械学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

Mechanical Engineering Congress / 年次大会講演論文集

(巻 / Volume)

2004

(号 / Number)

3

(開始ページ / Start Page)

3

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2004-09-04

1902 管内進行火炎を用いた超希薄炭化水素－空気混合気の 燃焼特性について

A study of the combustion characteristics of the extremely lean hydrocarbon-air mixture
using flame propagation in a tube

正 川上 忠重 (法政大)

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

Experiments have been carried out with extremely lean, quiescent hydrocarbon-air mixtures to examine the influence of flame propagation direction under normal gravity and microgravity conditions on propagation limit and distance of flame propagation in a tube and the appearance mechanism of cellular flame. Experimental condition for the initial mixtures corresponds to room temperature and 0.1 MPa and the fuels used are propane and methane of 99.9% purity, respectively. The main conclusions are follows: (1) Flame shape and distance of flame propagation are affected by the direction under normal gravity. (2) Cellular flames are appeared not only lean methane-air mixtures but propane-air mixture near the lean limit under microgravity. (3) The range of distance of flame propagation under normal and microgravity conditions can possible to distinguish.

Key Words : Microgravity, Cellular flame, Flame propagation limit

1. 結論

希薄可燃限界近傍領域における、燃焼特性の詳細かつ正確な把握は、エネルギー有効活用、また安全工学的見地からも重要である。しかしながら、希薄領域における燃焼は、多くの問題点（着火性の低下、不安定火炎の発生など）を含んでおり¹⁾、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極めて困難であり、自然対流の影響を除くことができる微小重力環境の利用は必要不可欠である²⁾。

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、管内進行火炎伝ばを用いて希薄領域における炭化水素－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、不規則火炎発生確率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影響について検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

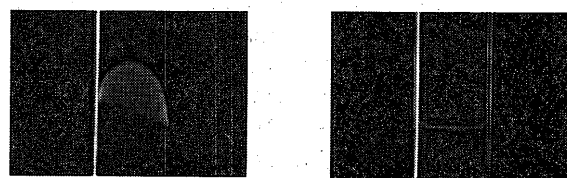
本研究における実験装置寸法は幅 600 mm×奥行き 410 mm×高さ 230mm で、本体にはアクリル製燃焼管(管内径 70 mm、長さ 400 mm)、8mm ビデオカメラ、点火装置、遅延回路及び点火用バッテリー等が搭載されている。燃焼管の両端には ABS 樹脂製の栓が設けてあり、点火端側の栓には、燃料注入用および吸気用バルブ、点火装置（ニクロム線）が、そして他端には排気用バルブが設けられている。²⁾ また、通常重力下における上方および下方火炎伝ばの測定には、鉛直方向に立てたアクリル製燃焼管(管内径 50mm、長さ 1000mm)を用いた。なお、燃焼管に取り付けられた排気システムにより燃焼管内は大気圧状態に維持され、実験は室温、大気圧で行った。燃料は炭化水素燃料の代表例として、純度 99.9% のメタン (CH_4) 及びプロパン (C_3H_8) を使用した。

本研究での微小重力環境は落下塔（高さ約 5m、有効落下距離約 4m）による自由落下法で実現され、その微小重力観測時間は約 0.9 秒である。

3. 実験結果及び考察

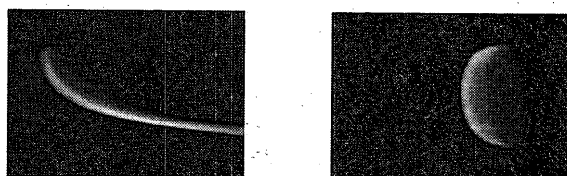
Fig.1 に本実験で得られた通常重力下における上方向、下方向火炎伝ばの火炎面形状の代表例を示す。

Fig.2 に本実験で得られた通常重力下及び微小重力下にお



(a) Upward propagation (b) Downward propagation

Fig.1 Flame propagation behavior (C_3H_8 , $\phi=0.52$)



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

Fig.2 Horizontal propagation (C_3H_8)



0.000[sec] 0.033[sec] 0.067[sec]
Fig.3 Cellular flame (C_3H_8 , microgravity, $\phi=0.4$)

るプロパン－空気混合気の水平方向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、通常重力下(a)では、火炎は浮力の影響により火炎面先端部を著しく上方向に持ち上げられながら火炎伝ばしており、一方、微小重力下(b)では浮力の影響を受けないため、燃焼管中心軸に対して放物線状のほぼ対称形を呈する火炎形状となっている。

Fig.3 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。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ながら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ことがわかったが、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。

Fig.4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超希薄領域でのプロパン-空気及びメタン-空気混合気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い火炎伝ば速度は両燃料とも単調に減少し、また、同一当量比での微小重力下における火炎伝ば速度は通常重力下と比較してどの希薄領域においても約30～50%減少している。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³⁾。

Fig.5に本実験で得られた両重力環境下におけるプロパン及びメタン-空気混合気の各当量比に対するセル状火炎発生率を示す。ここでのセル状火炎発生率は、本来、統計手法に基づきある程度の実験回数を当然必要とするが、今回は便宜的に25回程度の実験回数でのセル状火炎の出現割合とした。この図から明らかなようにメタン-空気混合気を用いた場合には、僅かな実験回数範囲ではあるが、セル状火炎発生率は、両重力環境とも当量比の減少に伴って低下している。また、通常重力下における可燃限界近傍当量比 $\phi=0.5$ ではセル状火炎発生率は両重力環境下とも80%以上となっており選択拡散理論と一致する。一方、プロパン-空気希薄混合気を用いた場合には、本実験範囲内では通常重力下においてはセル状火炎の発生は確認されず、先と同様に、選択拡散理論と一致している。しかし微小重力環境においては当量比 $\phi=0.4\sim0.5$ の範囲において50%以上の発生確率を呈している。本来、選択拡散の理論ではプロパン-空気混合気を用いた場合にはセル状火炎は過濃混合気領域においてのみ、発生するはずであるが、可燃限界近傍においてはレイス数効果により火炎の強弱が部分的に発生し、それによりセル状火炎に移行する発生機構も考えられるので、今後さらに詳細に検討を行う予定である。

Fig.6に火炎到達距離に及ぼす伝ば方向と点火エネルギー及び重力環境の影響を評価するために、当量比に対する火炎到達距離を示す。ここで、火炎到達距離とは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んでいる。この図から明らかなように通常重力下における火炎到達距離に与える点火エネルギーの影響は、各伝ば方向においても大きな差異は見られなかった。またこの図から、両重力環境下における火炎到達距離は大きく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以上の火炎伝ば距離の観察可能な領域、領域Ⅱ：微小重力環境においてのみ1500mm以上の火炎伝ば距離の観察可能な領域、領域Ⅲ：当量比、伝ば方向などの影響により、両重力環境において1500mm未満の火炎伝ば距離が観察できる領域、領域Ⅳ：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。

4. 結論

本研究では超希薄炭化水素-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、管内進行火炎伝ばを用い、通常重力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、火炎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) 選択拡散理論のみではセル状火炎の発生が説明できない領域が存在する。
- 3) 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。

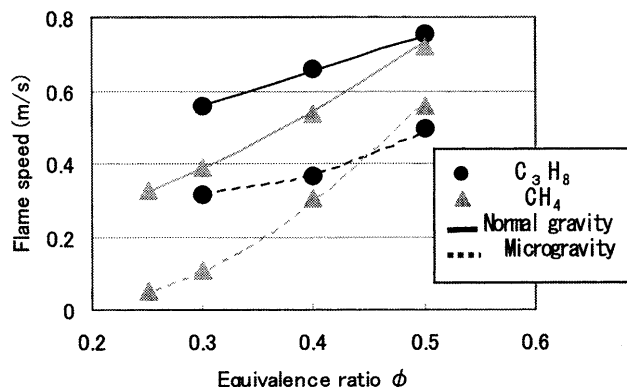


Fig.4 Flame speed under normal gravity and microgravity

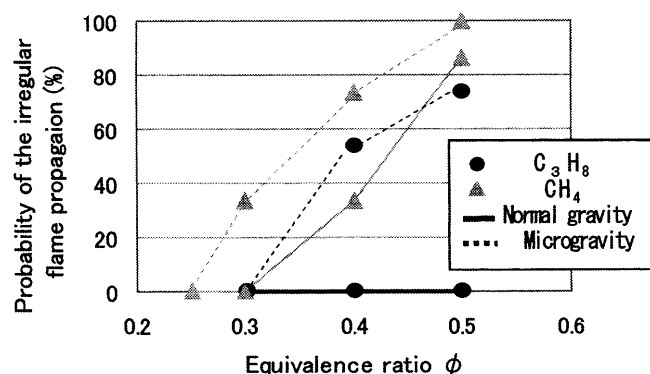


Fig.5 Probability of the irregular flame propagation

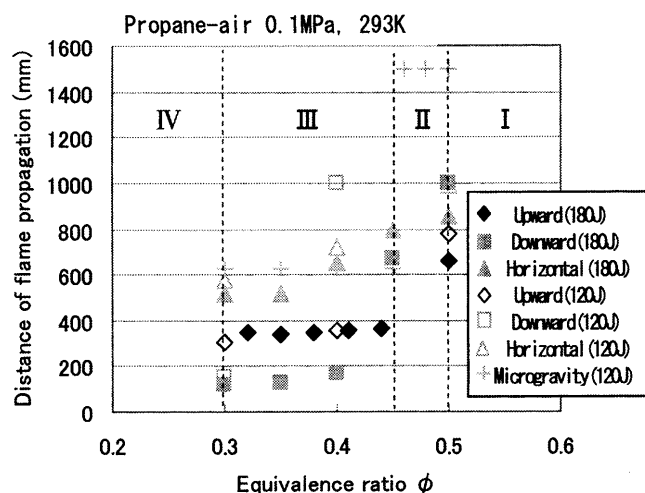


Fig.6 Distance of flame propagation (C_3H_8)

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1名、機論(B)、67-656、2001、215-219
- 3) Irvin Glassman, COMBUSTION, (1987), 137-139, ACADEMIC PRESS, INC.