

3430 微小重力下での超希薄炭化水素：空気混合気の燃焼特性に及ぼす二酸化炭素添加の影響(S89-3 微小重力・宇宙環境利用(3), S89 微小重力・宇宙環境利用)

本田, 卓也 / KAWAKAMI, Tadashige / HONDA, Takuya / 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)

2005

(号 / Number)

5

(開始ページ / Start Page)

461

(終了ページ / End Page)

462

(発行年 / Year)

2005-09-18

3430 微小重力下での超希薄炭化水素-空気混合気の燃焼特性に 及ぼす二酸化炭素添加の影響

Influence of Carbon Dioxide Concentration on Combustion Characteristics of
Extremely Lean Hydrocarbon-air Mixture under Microgravity

○学 本田 卓也 (法大院) 正 川上 忠重 (法政大)

Takuya Honda, 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 : Carbon Dioxide Concentration, Microgravity, Burning Velocity

1. 結論

近年、自動車エンジンなどの内燃機関が排出する燃焼排出物は地球温暖化、光化学スモッグ、酸性雨など、環境汚染の一要因となっている。また人口の増加により、化石燃料などの有限資源が大量に消費され、燃料枯渇の問題も環境汚染と同様に懸念されている。そのため内燃機関には、燃焼排出物の低減、資源の有効利用、高効率化を含める燃焼の改善が求められている。

内燃機関の燃焼改善に効果的である手段として、希薄燃焼技術や EGR (排気ガス再循環法) が有効且つ現実的であると考えられ、多くの研究者によって研究開発・実用化への検討が行われている。しかし希薄燃焼では燃焼速度の低下による火炎の不安定性、希薄可燃限界近傍での失火や消炎などの問題を含んでいる。また EGR では窒素と排気ガスによる有効仕事の減少などの問題が挙げられ、内燃機関の燃焼改善にいたるまでの課題は残されている。

そこで本研究では、希薄燃焼における EGR を想定し、燃料希薄領域での炭化水素-空気混合気の窒素を二酸化炭素に置換し、二酸化炭素の影響による燃焼特性を把握する指針を得るために、通常重力環境と微小重力環境の両重力環境において管内進行火炎伝播法を用いて実験を行うことにより、まず手始めとして、二酸化炭素濃度変化による火炎挙動、火炎伝播速度及び燃焼速度に及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の概略図を示す。実験装置寸法は幅 576mm、奥行き 400mm、高さ 250mm で、本体にはアクリル製燃焼管 (長さ 400mm、内径 70mm)、8mm ビデオカメラ、タイマー、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 樹脂製の栓が設けられており、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。燃料に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) 及びメタン (CH_4) を用いた。本実験は室温、大気圧下で行われ、混合気の作成方法は、燃焼管内に燃料導入用バルブ及び排気用バルブを開放した状態で、プロパンまたはメタン・窒素・酸素・二酸化炭素をそれぞれ体積流量計を介して導入する。混合気の当量比及び二酸化炭素濃度の調節は、燃料・酸素の体積流量を一定とし窒素と二酸化炭素の体積流量を変化させることで、設定された当量比・二酸化炭素濃度となるようにした。混合気作成後、火炎伝播中の燃焼管内の圧力上昇による火炎伝播に及ぼす影響を取り除くため、燃料導入用バルブを開放した後点火し、火炎伝播と火炎挙動を観察・記録する。火炎伝播・火炎挙動の記録には、8mm ビデオカメラが使用された。また、微小重力環境の実現には、落下塔 (法政大学工学部所有: 高さ約 5m、有効落下距離約 4m) を用い、約 0.9 秒間の微小重力状態が観察可能である。

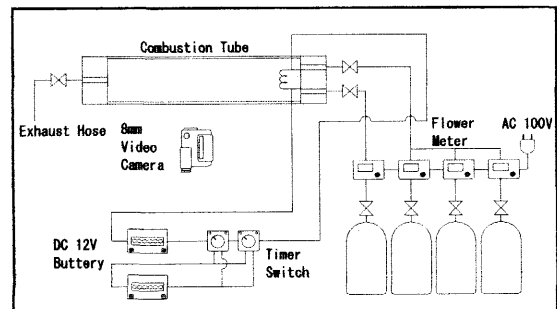
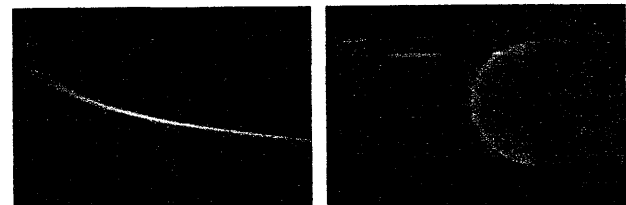


Fig.1 Schematic Diagram of Experiment Apparatus



(a) (b)
Propane - $N_2 - O_2 - CO_2$ ($\phi=0.5, CO_2=15vol\%$)



(a) (b)
Methane - $N_2 - O_2 - CO_2$ ($\phi=0.5, CO_2=15vol\%$)

Fig.2 Flame Shape

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に本実験で得られたプロパン及びメタン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気の当量比 $\phi=0.5$ 、二酸化炭素濃度 15vol% の火炎挙動を示す。ここで二酸化炭素濃度は混合気中の酸素濃度を 21vol% で固定し、不活性ガス中に二酸化炭素が占める割合とした。図(a)が通常重力環境での火炎挙動、図(b)が微小重力環境での火炎挙動である。この図から明らかなように、通常重力環境では浮力の影響により火炎先端部分が著しく上方向に持ち上げられ火炎が伝播している。一方、微小重力環境においては、火炎は浮力の影響を受けないため、燃焼管の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伝播している。¹⁾

Fig.3 及び Fig.4 に通常重力、微小重力の両重力環境における、プロパン及びメタン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気の二酸化炭素の濃度に対する火炎伝播速度を、当量比をパラメーターとして示す。図中の N.G は通常重力環境、M.G は微小

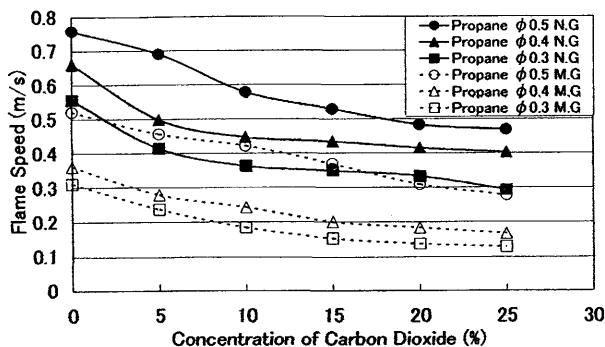


Fig.3 Flame Speed of Propane

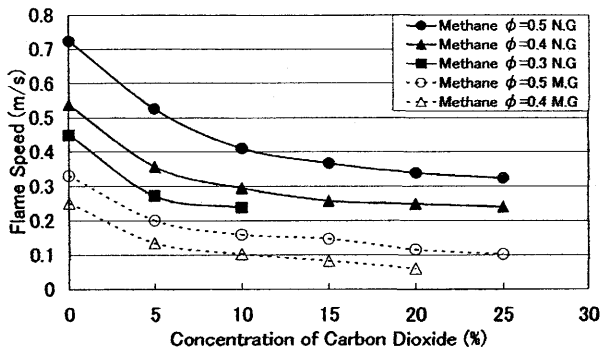


Fig.4 Flame Speed of Methane

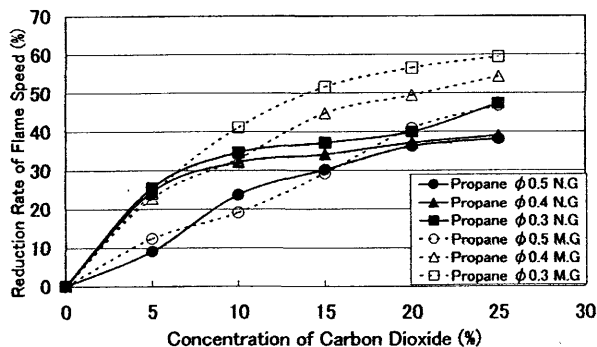


Fig.5 Reduction Rate of Flame Speed of Propane

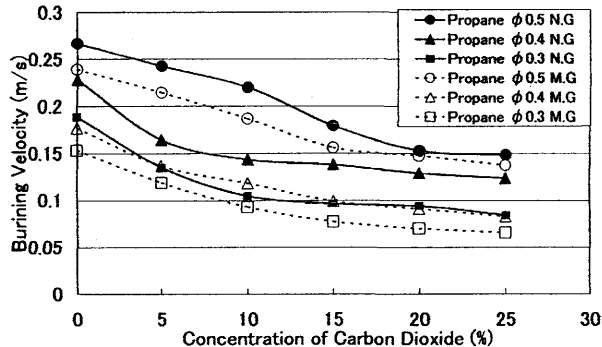


Fig.6 Burning Velocity

重力環境を示している。図から明らかなように、プロパン及びメタン混合気ではどの当量比においても、両重力環境下ともに二酸化炭素濃度の増加に伴い火炎伝播速度が低下していることがわかる。これは混合気中の二酸化炭素の影響により、火炎温度が低下し、また燃焼時間が増加することで熱損失が大きくなり、火炎伝播速度が低下したと考えられる。²⁾ 二酸化炭素を考慮した断熱火炎温度の計算において、火炎温度の減少（プロパン混合気において二酸化炭素置換 25%で最大約 100K 程度）が確認されている。このことから火炎伝播速度の低下は、二酸化炭素の置換による火炎温度の減少によるものであると考えられる。また、同一当量比の二酸化炭素濃度に着目すると、通常重力環境、微小重力環境での火炎伝播速度は、希薄領域において微小重力環境の方が通常重力環境よりも約 30~50%減少している。これは通常重力環境における浮力の影響、火炎表面積の増加によるものと考えられ、過去のプロパン-窒素-酸素混合気の実験結果と一致している。³⁾ なお、メタン混合気においては通常重力環境における当量比 φ=0.3 の二酸化炭素濃度 15%以上、微小重力環境での当量比 φ=0.3、当量比 φ=0.4 の二酸化炭素濃度 25%では、火炎の伝播は確認されなかった。

Fig.5 に通常重力、微小重力の両重力環境における、プロパン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気における二酸化炭素濃度に対する火炎伝播速度の減少割合を、当量比をパラメータとして示す。ここで火炎伝播速度の減少割合は各当量比の二酸化炭素濃度が 0%を基準とした。この図から明らかなように、通常重力及び微小重力環境下での火炎伝播速度の減少割合に着目すると、通常重力環境下では、二酸化炭素濃度が 10~20%程度において、二酸化炭素濃度の増大に伴う火炎伝播速度の減少割合が微小重力環境と比較して低下している。本実験においては、メタン混合気を用いた場合には現在までに同様の傾向が観察されておらず、このように燃料性状の違いにより、二酸化炭素置換による火炎伝播速度の減少割合に差異が生じ

ることは大変興味深い。今後断熱火炎温度の減少割合も含めて詳細に検討していく予定である。

Fig.6 に通常重力、微小重力の両重力環境における、プロパン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気における二酸化炭素濃度に対する燃焼速度を、当量比をパラメータとして示す。なお、燃焼速度は火炎表面積を考慮して算出した。この図から明らかなように両重力環境とも二酸化炭素濃度の増加に伴って、燃焼速度は単調に減少している。ここで当量比の影響に着目してみると、両重力環境とも当量比の希薄側への移行に伴って、二酸化炭素濃度 15%以上では、若干ではあるが減少割合が低下する傾向が観察された。このことから実機において二酸化炭素置換率は約 15%以内が効果的であると考えられる。今後、二酸化炭素 0~15%の範囲において燃焼速度の変化割合に及ぼす影響について詳細に検討を行う予定である。

4. 結論

本研究では通常重力、微小重力下の両重力環境下で、管内進行火炎伝播法を用いてプロパン及びメタン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気について二酸化炭素添加が燃焼特性に及ぼす影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 通常重力及び微小重力環境下とも、二酸化炭素添加割合の増加に伴い火炎伝播速度は減少し、その減少割合は重力環境により差異が発生する。
- 2) 二酸化炭素添加による燃焼改善効果には、最適添加割合が存在する。

参考文献

- 1) 新岡嵩ら、燃焼現象の基礎、(2001)、オーム社
- 2) 阮・小林 他、日本機械学会論文集、No.98-1015(1999)、pp.327-332
- 3) 天内・川上、日本機械学会論文集、No.041-1(2004)、pp.164-165