

20213 微小重力下における超希薄炭化水素- 空気混合気の燃焼改善に関する研究：燃焼 速度に及ぼす乱れの影響について(熱工学 (3))

KAWAKAMI, Tadashige / 本田, 卓也 / HONDA, Takuya / 川上,
忠重

(出版者 / Publisher)

日本機械学会関東支部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集 / 日本機械学会関東支部総会講演会
講演論文集

(号 / Number)

12

(開始ページ / Start Page)

399

(終了ページ / End Page)

400

(発行年 / Year)

2006-03-09

20213

微小重力下における超希薄炭化水素-空気混合気の燃焼改善に関する研究 - 燃焼速度に及ぼす乱れの影響について -

A Study of Combustion Improvement for Extremely Lean Mixtures under Microgravity
- Influence of Turbulence on Burning Velocity -

○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

Recently, the internal combustion engines are required to reduce the pollutant emissions and obtain high efficiency. To solve those, lean burn engines and exhaust gas recirculation (EGR) are effective. However, control over lean burn or EGR, causes by a decrease in the engine-performance which directly effects the decrease on burning velocity and miss fire. This study has been carried out to examine the influence of turbulence on burning velocity and flame speed for extremely lean mixtures under microgravity and normal gravity conditions to improve the combustion. The experimental results are as follows: (1) Burning velocity and flame speed increase with increasing swirl intensity under both gravity conditions. (2) Lean flammability limit shifts to wide range with increasing swirl intensity for $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-O}_2\text{-CO}_2$ mixtures.

Key Words : Lean Burn, EGR, Burning Velocity, Turbulence, Microgravity, CO_2 Concentration

1. 結論

近年、自動車エンジンを始めとする内燃機関には、燃焼排出物の低減、高効率化を含める燃焼の改善が求められている。これら内燃機関の燃焼改善に効果的手段として、希薄燃焼を利用した EGR (排気ガス再循環法) は極めて有効且つ現実的であると考えられ、研究開発・実用化への検討が行われている。しかしながら希薄燃焼や EGR を用いた燃焼制御には、機関性能の低下に直接影響する、燃焼速度の低下、火炎の失火・消炎などの問題が含まれており、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 の燃焼改善手法確立を目的とし、二酸化炭素を添加した混合気に加え僅かな旋回流を与え、まず手始めとして乱れが火炎挙動、火炎伝播速度、燃焼速度に及ぼす影響について通常重力環境及び微小重力環境で検討を行った。

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。燃焼管内には混合気中に一様な旋回流を作るためケースファン及び多孔板が設置されている。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。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、管内での混合気流速を 0.12m/s 及び 0.21m/s になるように管内に設置したケースファンの回転数を制御した。点火の直前には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。

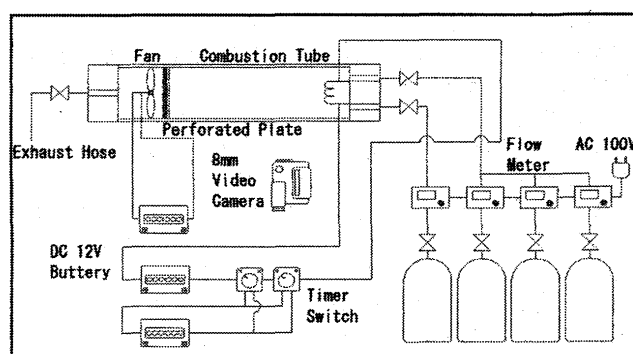
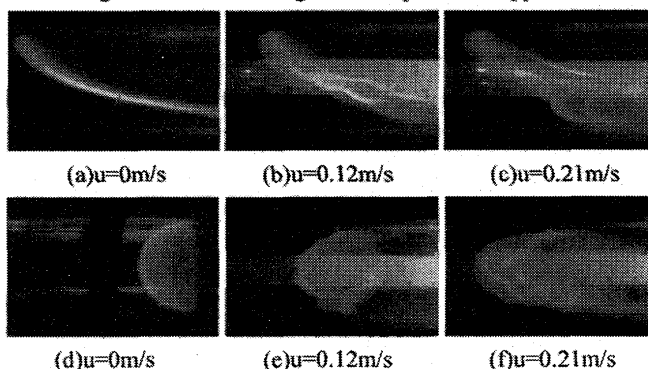


Fig.1 Schematic Diagram of Experiment Apparatus



Methane - N_2 - O_2 - CO_2 ($\phi=0.5$, $\text{CO}_2=15\text{vol}\%$)

Fig.2 Flame Shape

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に本実験で得られたメタン-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% での火炎挙動を示す。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。また図中の u は混合気中の旋回流平均流速を示している。図(a),(b),(c)が通常重力環境での火炎挙動、図(d),(e),(f)が微小重力下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。また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。一方、混合気中に僅かな旋回流を与えた場合においては、両重力環境下とも火炎表面は不規則な形を有しており、火炎面の凹凸は流速の増加に伴って著しく増大している。

Fig.3に $\phi=0.5$ での通常重力、微小重力の両重力環境における、プロパン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気の二酸化炭素の濃度に対する火炎伝播速度を、旋回流平均流速をパラメータとして示す。図中の N.G.は通常重力環境、M.G.は微小重力環境を示している。この図から明らかなように、プロパン混合気ではどの旋回流平均流速においても、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単調に減少している。ここで、各二酸化炭素濃度における旋回流平均流速に着目すると、両重力環境下とも旋回流平均流速の増大に伴い、火炎伝播速度が増加している。これは火炎に流入する未燃混合気に乱れが与えられることにより、火炎面の凹凸が著しく増大し、火炎表面積が増大したためであると考えられる。また、重力環境の影響は混合気中に僅かな旋回流を与えた場合においても、同一旋回流平均流速、同一二酸化炭素濃度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%減少しており、層流での実験結果と一致した。¹⁾

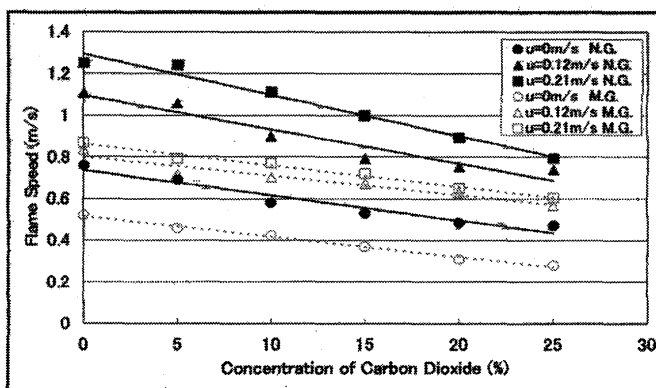


Fig.3 Flame Speed (Propane: $\phi=0.5$)

Fig.4に $\phi=0.3$ での通常重力環境におけるメタン-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を、旋回流平均流速をパラメータとして示す。この図から明らかなように、メタン混合気の希薄可燃限界は、層流において二酸化炭素濃度 10%、旋回流平均流速 $u=0.12\text{m/s}$ おいて二酸化炭素濃度 15%、旋回流平均流速 $u=0.21\text{m/s}$ おいて二酸化炭素濃度 20%であり、旋回流平均流速の増大に伴い希薄可燃限界が拡大していることが観察された。また、本実験においてメタン混合気を用いた微小重力環境下においても同様に旋回流平均流速の増大に伴い希薄可燃限界は拡大した。

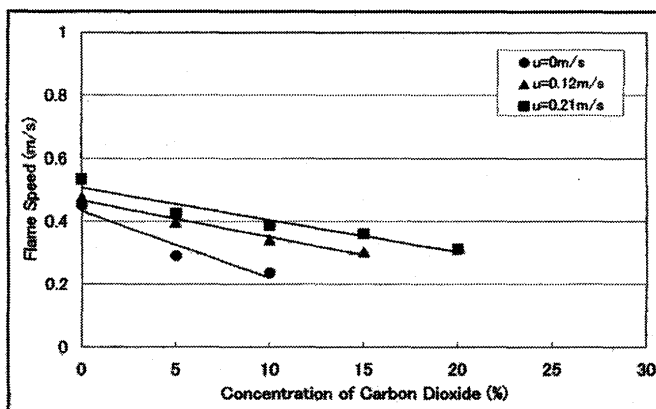


Fig.4 Flame Speed (Methane: $\phi=0.3$)

Fig.5に $\phi=0.3$ での微小重力環境におけるプロパン-窒素-酸素-二酸化炭素混合気の二酸化炭素濃度に対する層流燃焼速度及び乱流燃焼速度を、旋回流平均流速をパラメータとして示す。なお、層流燃焼速度及び乱流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。ここで旋回流平均流速の影響に着目してみると、旋回流平均流速の増大に伴い $u=0.12\text{m/s}$ では層流燃焼速度と比較して約 40%、 $u=0.21\text{m/s}$ では約 60%の燃焼速度の増大が観察された。

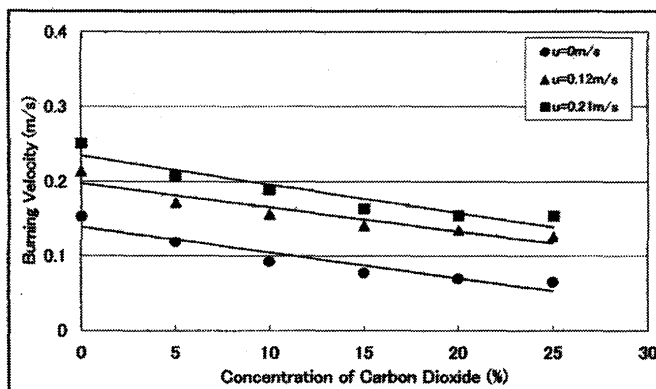


Fig.5 Burning Velocity Propane: $\phi=0.3$

Fig.6に $\phi=0.4$ での微小重力環境における、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濃度に対する乱流燃焼速度の増加率を、旋回流平均流速をパラメータとして示す。なお、乱流燃焼速度の増加率は層流燃焼速度における各二酸化炭素濃度を基準として算出した。この図から明らかなように、旋回流平均流速の増大に伴う増加率の増大はプロパン混合気と比較してメタン混合気において顕著に表れており、希薄メタンでの選択拡散効果によるものと考えられる。また、メタン混合気では二酸化炭素濃度の増大に伴う旋回流平均流速の影響が若干観察されたが、プロパン混合気を用いた場合には同様の増加傾向が観察されなかった。一方、二酸化炭素濃度 0%において、メタン混合気への旋回流平均流速の影響は低下しており、燃料性状の違いによる差異が観察されなかった。

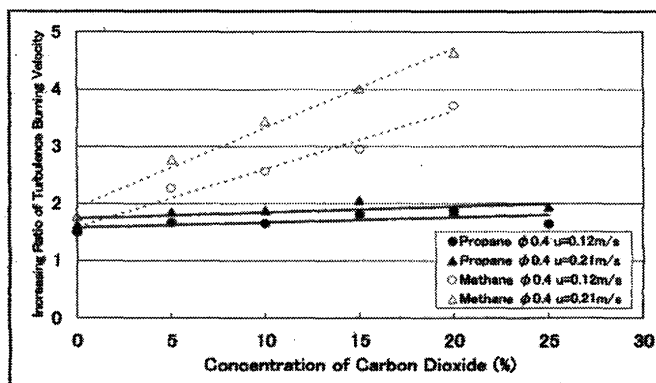


Fig.6 Increasing Ratio of Turbulence Burning Velocity

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乱れが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。以下に結果を示す。

- 1) 通常重力及び微小重力環境下とも、火炎伝播速度および燃焼速度は旋回流平均流速の増大に伴い増加する。
- 2) $\text{CH}_4\text{-N}_2\text{-O}_2\text{-CO}_2$ 混合気の希薄側可燃限界は旋回流平均流速の増大に伴い、より希薄側に移行する。

参考文献

- 1) 本田・川上、日本機械学会論文集、No.050-4(2005)、pp.85-86