

401 超希薄炭化水素混合気の燃焼特性に及ぼす二酸化炭素添加および乱れの影響について (応用熱工学I, オーガナイズドセッション, 人体のコンピュータモデルの作成とその応用, 特別講演)

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

(出版者 / Publisher)

日本機械学会関東支部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

山梨講演会講演論文集 / 山梨講演会講演論文集

(開始ページ / Start Page)

85

(終了ページ / End Page)

86

(発行年 / Year)

2005-10-21

401 超希薄炭化水素混合気の燃焼特性に及ぼす二酸化炭素添加および乱れの影響について

Influence of CO₂ addition and turbulence on combustion characteristics for extremely lean mixtures

○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 : CO₂ addition, Microgravity, Turbulence

1. 緒論

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、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。しかしながら希薄燃焼や EGR を用いた燃焼制御には、機関性能に直接影響する、燃焼速度の低下、火炎の失火などの問題を含んでおり、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領域における燃焼特性に及ぼす二酸化炭素添加及び乱れの影響を検討するために、まず手始めとして火炎挙動、火炎伝播速度に及ぼすそれらの影響について検討を行い、併せて重力の影響についても考察を行った。

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 (C₃H₈) 及びメタン (CH₄) 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。

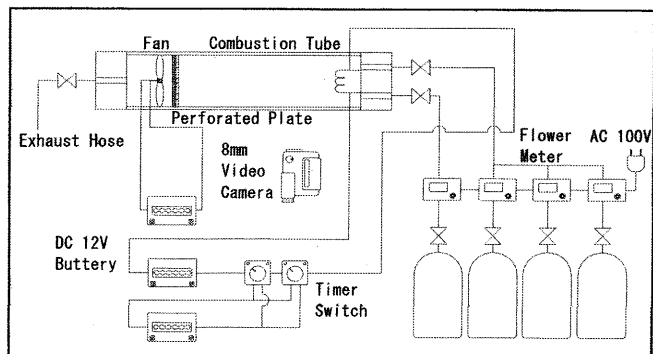
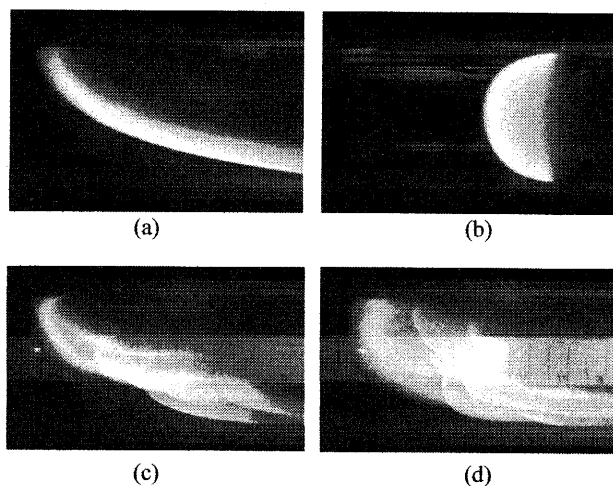


Fig.1 Schematic Diagram of Experiment Apparatus



Propane - N₂ - O₂ - CO₂ ($\phi=0.5$, CO₂=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-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)が流速 $u=0\text{m/s}$ における通常重力環境での火炎挙動、図(b)が流速 $u=0\text{m/s}$ における微小重力環境での火炎挙動、図(c)が流速 $u=0.12\text{m/s}$ における通常重力環境での火炎挙動、図(d)が流速 $u=0.21\text{m/s}$ における通常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、通常重力環境で混合気中に僅かな旋回流を与えた場合においては、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に層流での通常重力、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、当量比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。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。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。¹⁾

Fig.4及びFig.5に通常重力環境でのプロパン及びメタン-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、各当量比における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、プロパン及びメタン混合気での火炎伝播速度は各当量比のどの二酸化炭素濃度においても平均流速の増大に伴い増加している。これは、火炎に流入する未燃混合気中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。ここでプロパン及びメタン混合気での減少割合に着目すると、混合気中に乱れを与えた場合には、その減少割合が若干ではあるが低下しており、乱流による燃焼促進効果が得られている。また、その減少割合の差異はプロパン混合気と比較してメタン混合気において増大の傾向が顕著に表れており、希薄メタンでの選択拡散効果によるものと思われる。²⁾一方、層流でのメタン混合気の希薄可燃限界は、当量比 $\phi=0.3$ の二酸化炭素濃度15%以上、微小重力環境での当量比 $\phi=0.3$ 、当量比 $\phi=0.4$ の二酸化炭素濃度25%であったが、僅かな旋回流を与えることにより、希薄可燃限界が拡大していることが観察された。

Fig.6に通常重力環境における、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火炎伝播速度の増加率を、当量比をパラメータとして示す。ここで火炎伝播速度の増加率は $u=0\text{m/s}$ での各当量比における各二酸化炭素濃度を基準とした。ここで、各当量比での二酸化炭素濃度に着目すると、混合気中の流速の増大に伴い、増加率は約20%~30%程度の増大が見られた。また、各当量比における平均流速の影響に着目すると、平均流速 $u=0.12\text{m/s}$ では、二酸化炭素濃度の増大に伴い火炎伝播速度の増加率が増大する傾向が観察されたのに対し、流速 0.21m/s では、二酸化炭素濃度15%以上で若干減少の傾向が見られた。

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および乱れ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する。
- 2) 混合気中に僅かな旋回流を与えた場合、火炎伝播速度は平均流速の増大に伴い増加し、希薄可燃限界が拡大する。

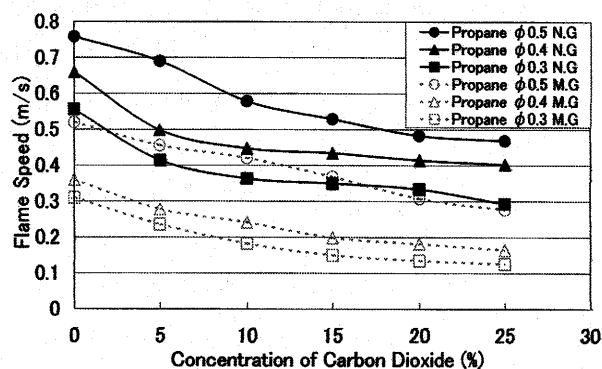


Fig.3 Flame Speed of Propane

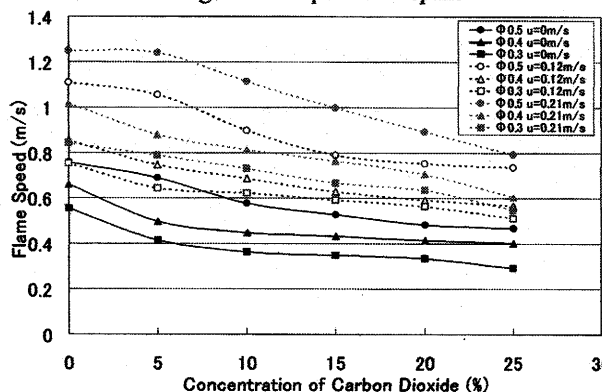


Fig.4 Flame Speed of Propane

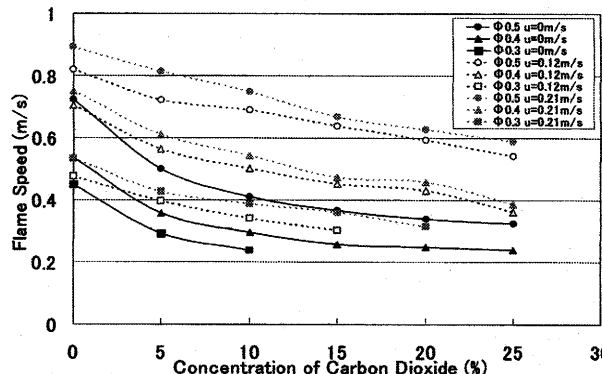


Fig.5 Flame Speed of Methane

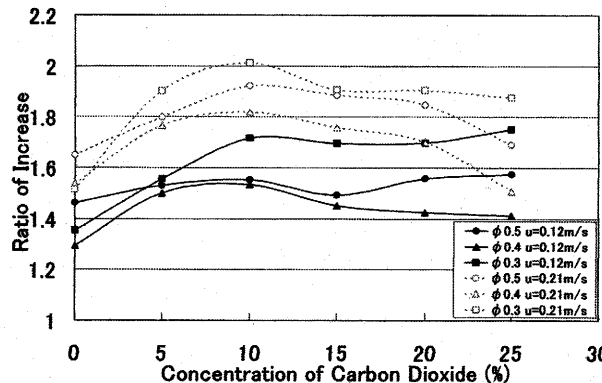


Fig.6 Rate of Increase of Propane

参考文献

- 1) 天内・川上、日本機械学会論文集、No.041-1(2004)、pp.164-165
- 2) 田上・浜武、日本機械学会論文集、No.00-0464(2001)、pp211-216