

法政大学学術機関リポジトリ

HOSEI UNIVERSITY REPOSITORY

PDF issue: 2025-12-09

453 希薄炭化水素-空気混合気の燃焼特性に及ぼす雰囲気湿度の影響について(応用熱工学III)

川上, 忠重 / KAWAKAMI, Tadashige / SHIBATA, Yosuke / 柴田, 洋輔

(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)
97

(終了ページ / End Page)
98

(発行年 / Year)
2006-10-20

453 希薄炭化水素-空気混合気の燃焼特性に及ぼす

雰囲気湿度の影響について

Influence of atmosphere humidity on combustion characteristics
for lean hydrocarbon-air mixtures

○学 柴田 洋輔 (法大院) 正 川上 忠重 (法大工)

Yosuke Shibata 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: Flame speed, Oxygen concentration, Humidity atmosphere

1. 緒論

近年、ガスタービン、内燃機関等、燃焼機器を対象とした燃焼生成物に対する規制は、年々著しく厳しくなっており、特に、内燃機関においては、排出ガス規制対象として、NO_x、CO₂、CO、HC 及び PM 等がある。低エミッション化には、希薄燃焼や EGR (排気ガス再循環) を用いた燃焼温度低減手法及び三元触媒を用いた後処理手法を組み合わせることが有効であることが知られているが、特に希薄燃焼は省エネルギーや NO_x 排出量等の低減に有効である。^{1),2)} しかしながら、燃焼温度低減による手法を用いた場合には、着火性の低下、火炎伝播の不安定性、有効仕事の減少などを検討する必要がある。³⁾

そこで本研究では、有効仕事を低減させることなくサーマル NO_x の発生を抑制させる指針を得るために、まず手始めとして管内進行火炎伝播法を用いて、希薄混合気中に水蒸気を添加し、湿度が燃焼特性に及ぼす影響を、燃焼挙動を観察することにより検討を行った。

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。本体は主に、燃焼管、点火装置、冷却管、電熱器、バッテリー、流量計、タイマー及びスイッチで構成されている。燃焼管は、内径 70mm、全長 330mm の円筒形であり、その内容積は約 1270 cm³ である。また、冷却管は、内径 50mm、全長 130mm の円筒形で、内部にはガラスビーズを充填させ表面積を増大させることにより、管内を通過する高温蒸気を含んだ気体の温度を室温まで低下させることができる。実験は、室温・大気圧下で行い、使用した燃料は純度 99.9% のプロパンである。本研究では、湿度を 0%RH ~ 100%RH まで 20%RH 刻みとし、各湿度の設定には高湿度空気混合気 (湿度 100%RH) と、乾燥空気混合気 (湿度 0%RH) の混合割合を調整することによって行った。なお、高湿度空気混合気 (湿度 100%RH) を作成する場合には、電熱器で予め水を沸騰させ、そこで作成した水蒸気を空気と混合させた後に、冷却管を通してから燃焼管に導入した。また当量比は 0.4 から、0.05 刻みで行い、希薄側可燃限界近傍では 0.025 刻みで行った。酸素濃度は 21vol% 及び 19vol% とした。実験に際して、設定した当量比、酸素濃度になるよう、燃料、空気、窒素を燃焼管に導入する。その後、一定時間(15 分間)分子混合させ、ニクロム線による熱面点火を行う。それにより発生した火炎伝播挙動をデジタルビデオカメラにより撮影し、キャプチャーボードを用いて PC に取り込み、その映像から単位時間あたりの移動距離を計測することにより、火炎伝播速度を算出した。データのプロット点を求める際は、10 回以上の実験を行い、その算術平均値を用いた。

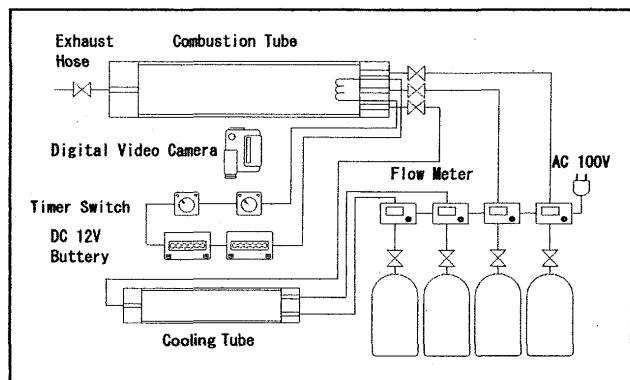


Fig. 1 Experimental apparatus

3. 実験結果及び考察

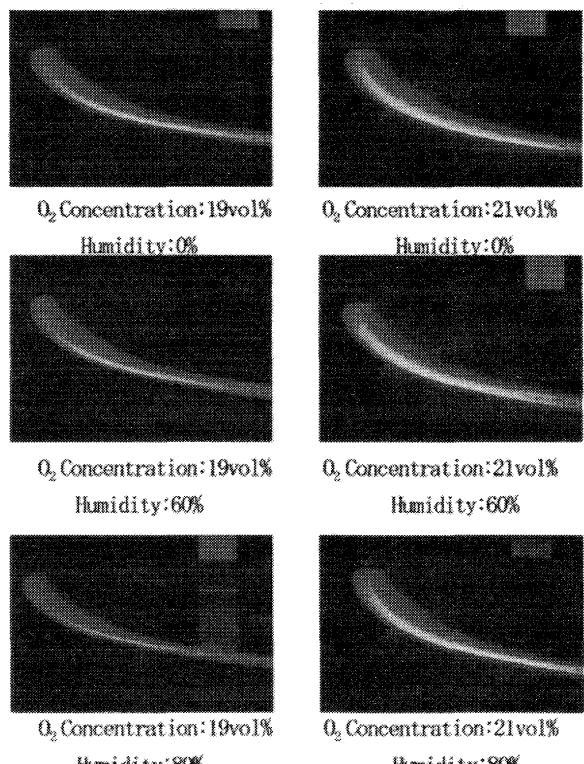


Fig. 2 Flame shape
(Propane-air: $\phi=0.35$)

Fig. 2 に当量比 $\phi = 0.35$ での火炎伝播挙動の代表例を示す。この図から明らかなように、混合気中に含まれている湿度の割合が同等な場合には、酸素濃度の低いほうが火炎発光部輝度に減少が見られる。一方、同一酸素濃度においては、水蒸気を添加した場合においても、火炎発光部輝度の著しい減少は見られない。これにより、水蒸気を添加した場合よりも、酸素濃度を減少させた場合の方が、火炎発光部輝度減少に対する影響が顕著であることがわかる。

Fig. 3 に火炎伝播速度に及ぼす湿度の影響を検討するため、雰囲気酸素濃度 21vol%におけるプロパン-空気混合気の、当量比に対する火炎伝播速度を、雰囲気温度をパラメータとして示す。この図から明らかなように、若干のばらつきは観察されるものの、どの当量比においても雰囲気湿度の増大に伴って火炎伝播速度は減少しており、水蒸気添加による火炎温度低下を示唆した結果となっている。また、当量比の増大に伴って、雰囲気温度 40%RH 以下では火炎伝播速度に及ぼす雰囲気温度の影響が減少する傾向が観察された。

Fig. 4 に先と同様に、雰囲気酸素濃度 19vol%での当量比に対する火炎伝播速度を、雰囲気温度をパラメータとして示す。この図から明らかなように、低雰囲気酸素濃度においても雰囲気湿度の増大に伴い火炎伝播速度は減少し、火炎伝播速度に及ぼす雰囲気温度の影響は、当量比の理論量論比側への移行に伴って減少している。本実験においては、低雰囲気酸素濃度における雰囲気温度 20%RH において、雰囲気酸素濃度 21vol%では観察されなかった、著しい火炎伝播速度の減少が観察された。これは、低酸素雰囲気においては水蒸気添加による燃焼促進効果の可能性を示唆している(40%RH, 80%RH)。

Fig. 5 に、当量比に対する火炎伝播速度比を、雰囲気温度(40%RH~80%RH)をパラメータとして示す。ここでの火炎伝播速度比とは、同一当量比における雰囲気酸素濃度 19vol%での火炎伝播速度を雰囲気酸素濃度 21vol%での火炎伝播速度で除した値と定義した。この図から明らかなように、本実験範囲内では雰囲気温度 40%RH 以上において、当量比 $\phi = 0.4$ では火炎伝播速度比の減少割合が、雰囲気温度の増大に伴って減少しており、明らかに希薄領域における水蒸気添加による燃焼促進効果を示した結果となっている。これは、希薄燃焼を用いた場合には、ある程度の火炎温度が維持しうる燃焼条件では、水蒸気添加によるラジカル発生によるものと考えられるが、今後より低酸素雰囲気での詳細な検討を行う予定である。

4. 結論

本研究では、管内進行火炎伝播法を用いて炭化水素-空気混合気の燃焼特性に及ぼす、雰囲気温度・雰囲気酸素濃度の影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) 可燃限界近傍での火炎挙動は、雰囲気温度よりも雰囲気酸素濃度の影響が顕著である。
- 2) 希薄混合気を用いた低酸素雰囲気においては、水蒸気添加による燃焼促進が観察される領域が存在する。

参考文献

- 1) Kawakami, T., Okajima, S., Satoh, J and Sakuraya, T Trans. Japan Soc. Mech Eng. 64-626. pp3497-3502 (1998)
- 2) Kawakami, T., Okajima, S., Satoh, J and Sakuraya, T Trans. Japan Soc. Mech Eng. 67-656. pp1073-1077 (2001)
- 3) 新岡嵩ら、燃焼現象の基礎、(2001)、オーム社

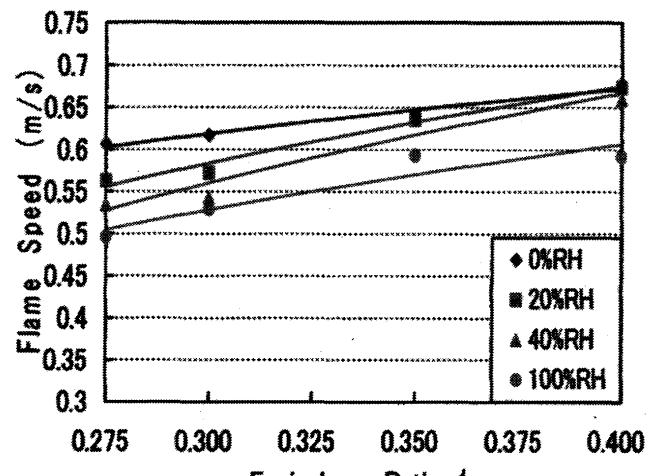


Fig. 3 Flame Speed (21vol% : Oxygen concentration)

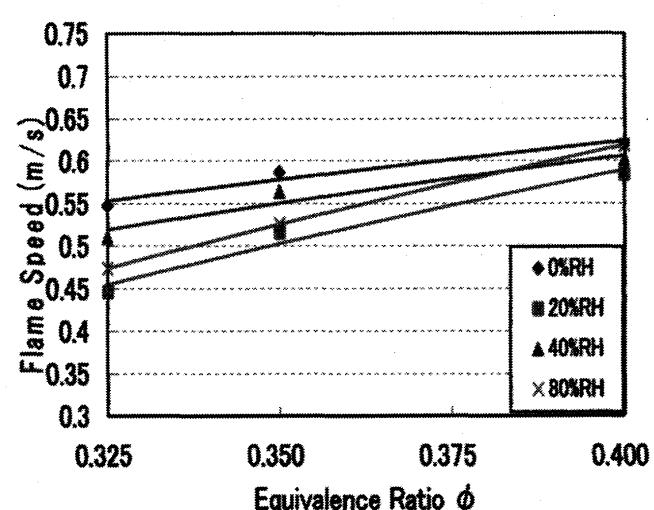


Fig. 4 Flame Speed (19vol% : Oxygen concentration)

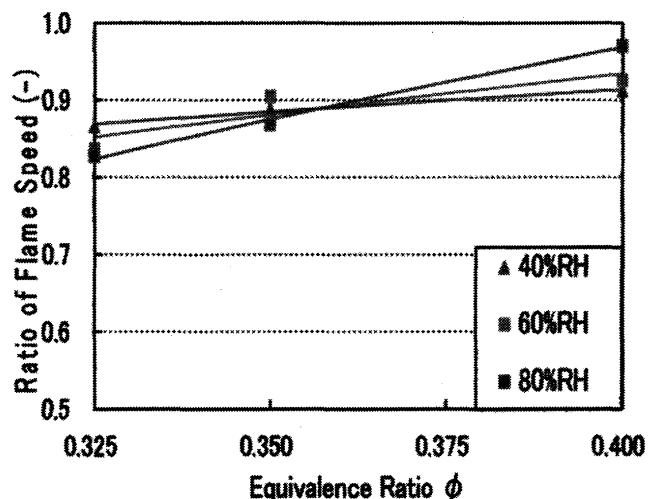


Fig. 5 Ratio of Flame Speed