対向型急速圧縮装置を用いた高温・高圧下での炭酸ガスを含む炭化水素混合気の燃焼に関する研究

Combustion Characteristics of Hydrocarbon-CO₂-O₂ Mixtures in High Temperature and Pressure using Opposed Rapid Compression Machine

○学 新田 淳一郎 (法大院) 正 川上 忠重 (法工大) 正 岡島 敏 (法工大)

Junichirou NITTA, Tadashige KAWAKAMI, and Satoshi OKAJIMA,
Faculty of Engineering, Hosei University, Kajino-cho, Koganei-city, Tokyo

Key words : Opposed Rapid Compression Machine, High Temperature and Pressure, C₃H₈-CO₂-O₂ Mixtures, Combustion

1. 緒言

現在、地球規模での環境問題として温暖化現象があり、この事には諸説があるものの、CO₂やN₂O等の温室効果を持つ気体以外の要因では100年当たり0.5度という温度上昇を説明する事は困難である。現在の温暖化の主要因は、人類の化石燃料の多量消費(燃焼)によって発生する二酸化炭素がその大部分を占めると推定されている。

産業革命以前には280ppmでほぼ一定であった大気中CO₂濃度は、1998年に364ppmに達し、戦後50年間の増加は急激で1.5ppm/年の高率となっている。そこで化石燃料の燃焼により発生したCO₂を大気に解放せず、排ガス中から回収する技術開発と、回収したCO₂の化学的有効利用技術、並びに緊急避難的な処置として海洋固定技術の技術的可能性が模索されている。¹⁾

そしてこの二酸化炭素回収技術の一環として、排ガス再循環燃焼も考案されている。²⁾ この燃焼技術は、二酸化炭素を含む排ガスの大半を再循環させ、高濃度の炭酸ガスを含む雰囲気中で化石燃料を燃焼させることにより排ガス中の二酸化炭素濃度を高め、回収効率の向上をはかり、もしくは排ガスそのものを工業用二酸化炭素として利用するものである。これと同時に燃焼時に発生した窒素酸化物・硫黄酸化物等を連続還元燃焼させることによって、大気汚染物質の低減も期待できる。しかしながら、現状において高濃度の炭酸ガスを含む炭化水素系燃料の燃焼特性を把握するには至っていない。

そこで対向型急速圧縮装置を用いて高圧・高温状況下を作り出し、その燃焼特性の把握を目的として実験を行った。

2. 実験装置

Fig. 1に対向型急速圧縮装置の概略を示す。本体は燃焼室・燃焼気筒・固定装置・圧縮気筒・空気駆動用電磁弁及び圧縮空気タンク等から構成されている。燃焼室には火花点火用電極(中心点火:間隔2.5mm)、ピエゾ式圧力ピックアップ

センサー、火炎伝播速度観測用イオンプローブ及び吸排気用コックが取り付けられている。実験に際しては、予混合燃料作製タンクによって作成された所定の混合気を、真空状態にしてある燃焼室及び燃焼気筒に導入したのち、両側の圧縮空気タンクに約0.5MPaまで作動用圧縮空気を充填する。次に圧縮空気解放用の電磁弁を開放することにより、圧縮気筒内のピストンに圧縮空気が作用し、コネクティングロッドによって連結されている燃焼気筒内のピストンが、燃焼室の両端まで移動する。その後リンク機構によって圧縮上死点位置で固定される。マイクロスイッチによって左右両ピストンが圧縮上死点位置に固定されたことを確認後、点火信号が点火装置に入力され、燃焼室内混合気はその中心点において火花放電により点火される。

本実験での使用燃料は、純度99.9%のプロパンであり、空気組成の代用として酸素21%・窒素79%の乾燥空気並びに空気中の窒素を炭酸ガスに置き換えた条件については、純度99.999%の高純度二酸化炭素を用いて酸素21%・二酸化炭素79%のCO₂-O₂混合気を作製し実験に用いられる。

実験条件は上記組成ガスに対し、当量比は0.9~1.2の範囲、圧縮比は1~5の範囲である。なお、本実験装置においては圧縮比1~9の範囲において、混合気初期圧力1.1MPa、混合気初期温度は550K程度の実験が可能となっている。本実験のポリトロップ指数は、1.32(空気)と1.28(炭酸ガス)である。

3. 実験結果及び考察

Fig. 2に対向型急速圧縮装置の圧縮過程・点火・燃焼状況の圧力線図を示す。Fig. 3に当量比φに対する最高燃焼圧力比を、圧縮比εをパラメータとして示す。ここでの最高燃焼圧力比とは、圧縮比がε=1及び当量比φ=1で得られたプロパン-空気混合気における最高燃焼圧力を基準として、各実験(炭酸ガス混合気)で得られた最高燃焼圧力との比である。こ

Fig 1 Opposed Rapid Compression Machine

の図から明らかなように、同一当量比でも炭酸ガス雰囲気中における燃焼は、同一圧縮比を用いた場合のプロパン-空気混合気と比較して、著しくその燃焼圧力は低下していることが分かる。またプロパン-空気混合気においては熱解離の影響から燃焼圧力は量論比よりも過濃側($\phi=1.1$)で最高値を示すが、プロパン-炭酸ガス-酸素混合気の圧縮比1では、ほぼ量論比付近において最高燃焼圧力が観測され、それは圧縮比が増大するにつれて過濃側へ移行している事が分かる (See Fig. 3 and Fig. 4)。

Fig4に当量比に対する全燃焼時間を圧縮比をパラメータとして示す。プロパン-空気混合気に対しては、その代表値として圧縮比 $\epsilon=1$ の場合の各当量比に対する燃焼時間を示す。ここでの燃焼時間とは火花点火後、圧力上昇が始まってから最高燃焼圧力に到達するまでの時間である。この図から分かるように、炭酸ガス混合気の燃焼の場合においても、圧縮比の増大は燃焼時間を著しく短縮させる。すなわち圧縮比増大は混合気の初期温度を上昇させるので、燃焼が促進されるのである。例えば、炭酸ガス混合気において当量比 $\phi=1$ 、圧縮比 $\epsilon=1$ と $\epsilon=5$ とを比較してみると、30%程度の燃焼時間の短縮がある。もちろん、これらの値はプロパン-空気混合気での燃焼時間と比較すると、同一条件で約20倍ほどその燃焼時間は増大している。

Fig5には当量比に対する区間火炎伝ば速度が圧縮比をパラメータにして示されている。ここでの火炎伝ば速度は、点火位置より15mmから20mmまでの区間において測定されたものである。この図から理解できるように、圧縮比の増大に伴って火炎伝ば速度は、炭酸ガス混合気及びプロパン-空気混合気の両者とも増大するが、その値は同一条件の比較において、炭酸ガス混合気においては当量比 $\phi=0.9 \cdot$ 圧縮比 $\epsilon=1$ で約1/8、 $\phi=1.0 \cdot \epsilon=1$ では1/5、 $\phi=1.2 \cdot \epsilon=1$ では1/5程度プロパン-空気混合気よりも減少している。

以上のことから、プロパン-炭酸ガス-酸素混合気と、プロパン-空気混合気における燃焼性の比較において、炭酸ガス混合気はその燃焼圧力や燃焼時間および火炎速度に対し、著しい低下が存在する。これはもちろん炭酸ガス混合気の比熱の増大による火炎温度の低下に起因するものと考えられるが、一方において反応速度における圧力指数の著しい低下も大きく影響しているものと考えられる。

4. 結論

- 1) 炭酸ガス混合気の燃焼においてはプロパン-空気混合気と比較して非常に緩慢な燃焼反応を示し、その最高燃焼圧力も非常に低い値を示す。
- 2) プロパン-空気混合気においては最高燃焼圧力は量論比より、熱解離の影響により過濃側(約 $\phi=1.1$)に移行するが、炭酸ガス混合気においては圧縮比 $\epsilon=1$ において、ほぼ量論比において最高燃焼圧力を示し、圧縮比の増大に伴ってそれは過濃側へ移行する。

参考文献

- 1) 資源環境技術総合研究所 NIRE ニュース1998年9月
- 2) 平田 他4名: シンポジウム・CO₂排出削減のための技術革新, 日本学術会議, 2000年5月

Fig.2 Pressure Diagram

Fig.3 Maximum Burning Pressure

Fig.4 Total Burning Time

Fig.5 Flame Speed