

衝撃波管を用いた高温高圧環境下における予混合気の点火挙動

日大生産工 (院) ○大塚 一輝 日大生産工 岩田 和也
日大生産工 今村 宰 日大生産工 山崎 博司

1 研究背景

近年、気候変動に伴う気温の上昇により地球温暖化が深刻化しており、その主な原因の一つとして温室効果ガスである二酸化炭素の排出量増加が指摘されている。また、二酸化炭素の人為的発生源である火力発電所では排出量低減に向けた対策が急務であり本格的な研究と実証が求められている。そこで、排ガスから二酸化炭素を分離・回収し、地中や海底に貯留する二酸化炭素貯留回収技術(CCS技術)¹⁾が注目されており、その代表的な例として純酸素燃焼法²⁾が挙げられる。

純酸素燃焼法とは燃料と混合する酸化剤を空気ではなく、空気中から窒素等を取り除いた純酸素と二酸化炭素を多く含んだ再循環排ガスを混合させた気体をボイラーへ再循環させながら燃焼させる方法である。そのため、燃焼ガスがCO₂とH₂Oのみとなり、窒素とそれに起因して発生する窒素酸化物(NO_x)を含まないことが大きな特徴である。また、燃焼ガスの冷却により水蒸気を凝縮し、気相成分を二酸化炭素のみとすることで簡単に分離が可能であるというメリットが挙げられる。しかし、二酸化炭素は比熱が高く、熱を吸収してしまうという特徴があるため設備内の火炎の安定性が低下するというデメリットがあり、高温高圧環境下における二酸化炭素雰囲気中の燃焼挙動の把握が望まれる。

2 目的

本研究は高温の二酸化炭素を多く含む燃焼ガスを再循環したボイラー内環境において、燃料を燃焼させた際の燃焼挙動を把握することが本研究の最終的な目的である。この目的に対して、実験的なアプローチを行い、ショックチューブ(衝撃波管, shock tube)³⁾を用いて燃焼特性の

把握を目指す。本報では今までに蓄積したショックチューブの特性実験⁴⁾をもとに、上記の目的に先立ちプロパン-空気予混合気を用いた燃焼実験における基礎的なデータを蓄積したので、その成果について報告する。

3 実験装置および測定方法

図1および図2にショックチューブの概要と実験装置の構成を示す。ショックチューブは、断面積一定の長い管を隔膜で高圧室(high-pressure chamber)と低圧室(low-pressure chamber)の二つに仕切り高圧室に高圧気体、低圧室に低圧気体を充填して隔膜を破ると、高圧気体は急激に膨張し、低圧室内に衝撃波が形成される。この衝撃波通過後の高温高圧条件を利用して燃焼特性の把握を試みる。図2に示されるように本実験構成では高圧室と低圧室の間に中圧室を設置し、圧力差を大きく取れるように調整している。中圧室は大型チャンバー(LINCS)と仕切り弁で接続しており、中圧室の圧力を一気に下げることで隔膜を破り衝撃波を発生させる。大型チャンバーの圧力は10kPa程度である。衝撃波の測定方法として低圧室の管端に設置した3つの圧力計により衝撃波通過後の圧力上昇を測定し、オシロスコープで圧力波形として取得している。圧力計は102B16(Piezotronic)、圧力波形を取得するオシロスコープは481C SERIESを使用する高圧室にはヘリウムガスを中圧室には空気を各々、0.7MPaG, 0.35MPaGで充填し、低圧には試験ガスを0.007~0.015MPaAで充填し、各室を仕切る隔膜はすべて75μmのルミラー®(TORAY, CO. Ltd.)とした。試験ガスの組成は当量比1のプロパン/空気予混合気(0.04C₃H₈+0.20O₂+0.76N₂)を基本とし、比較対象として酸素を窒素で置き換えた試験ガスを用いた。これらで比熱

Ignition behavior of premixed gas under high temperature and high pressure environment using shock tube

Kazuki OTSUKA, Kazuya IWATA, Osamu IMAMURA and Hiroshi YAMASAKI

比はほぼ同一で衝撃波の特性は大きくは変わらないものと予測される。以下では、前者を反応性混合気、後者を非反応性混合気と称することにする。

4 実験方法

図3は試験ガスの初期圧を0.015MPaAとした場合の反応性混合気と非反応性混合気の圧力履歴を示している。この図より反応性混合気は非反応性混合気と比べ初期の上昇圧力が高いことからプロパンが燃焼していると考えられる。また図4に反応性混合気で初期圧を変化させた場合の実験結果を比較している。初期圧の変化によって、到達温度が異なっている。初期圧を変化させても圧力上昇は観察されており、予混合気は点火しているものと考えられる。衝撃波が通過した後の温度が高いほどプロパンへの点火時間が遅くなっているように見受けられるが、点火時の圧力条件が同一ではなく今後、精査が必要である。今後は条件を変えて実験を繰り返し行い再現性の確認を実施する予定である。その後は二酸化炭素を多く含む混合気で実験を実施し燃焼挙動の把握に取り組む予定である。

5 まとめ

本年度は非反応性混合気と反応性混合気を用いて実験を実施した。これらの混合気で圧力上昇比較すると燃焼の有無を確認できた。また、低圧側の充填圧力を変えることで衝撃波の通過した後の温度上昇を制御しその結果、温度によって点火時期が異なることが確認できた。今後は実験を繰り返し行い再現性の確認をするとともに二酸化炭素雰囲気中での燃焼実験を検討していく予定である。



図1 ショックチューブ 概観

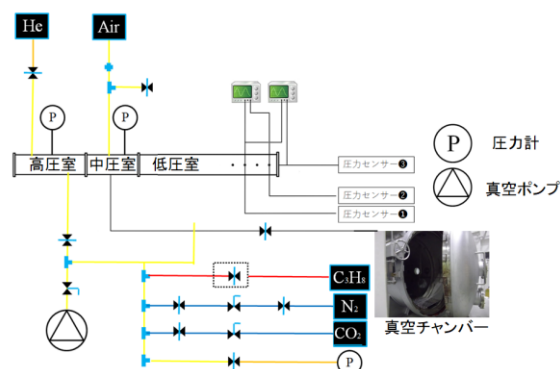


図2 実験装置 概略図

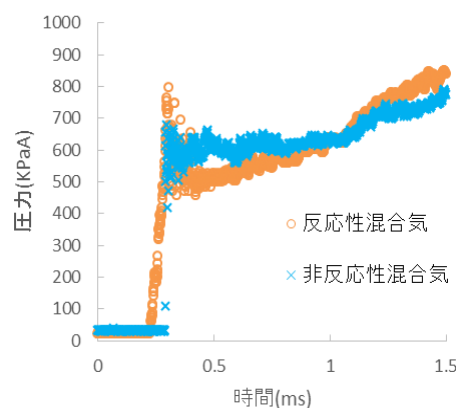


図3 反応性混合気と非反応性混合気における圧力分布の比較

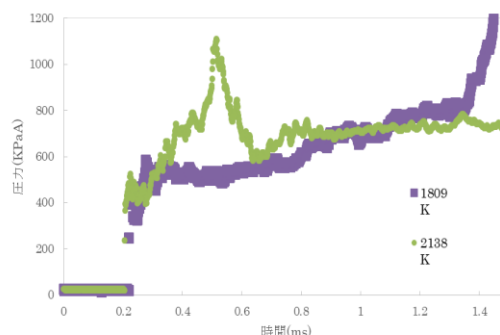


図4 衝撃波通過後の温度の違いによる圧力分布の比較

「参考文献」

- 1) 岩田和也 2011年慶應大学卒業論文
- 2) 朴 炳植 純酸素燃焼法に基づいたCO₂回収発電システムの特性と高効率化のためのエクセルギーフロー解析 日本ガスタービン学会誌 Vol.34 No.5(2006.9) pp.40~46
- 3) 松尾 一泰 圧縮性流体力学—内部流れの理論と解析 pp. 222~227
- 4) 上江洲 克樹, 大塚 一輝 日本大学生産工学部環境安全工学科 平成28年度卒業研究概要集 pp. 291~294