

第 52 回燃焼シンポジウム
発表報告

萩原 耀介

Yosuke HAGIWARA

機械システム工学専攻修士課程 2014 年度修了

1. はじめに

2014 年 12 月 3 日から 5 日に岡山コンベンションセンターで開催された第 52 回燃焼シンポジウムに参加し、「同心二重円筒装置における伝ば火炎の不安定性がフラクタル次元に及ぼす影響」というテーマで、口頭発表を行った。

2. 緒言

ガス爆発は火炎伝ばを伴う現象であり、火炎伝ば速度の大小は爆発による被害に大きな影響を及ぼす。火炎のスケールが数十 cm 程度になると、周囲気体に全く乱れがなくても火炎が乱流化する。このとき火炎がフラクタル構造をとる。Williams によると、予混合火炎における乱流化の原因は、拡散不安定性、重力不安定性、流体力学的不安定性が原因であると指摘している。火炎面に乱れがない場合は、火炎半径と時間の関係は比例関係にある。しかし、火炎面に乱れがある場合では、比例関係ではなくなる。このことにより、火炎伝ば速度を正確に予測することが非常に困難である。ところで、フラクタル次元を用いて火炎伝ば速度を表せることが Gostintsev らの研究によって明らかにされている。したがって、爆発の被害予測にはフラクタル次元の知識が不可欠である。

メタン－空気の混合気の実験において、火炎伝ば速度と火炎スケールの関係から実験的にフラクタル次元を算出する方法を確立した。その結果、燃料が希薄な場合にフラクタル次元の値が大きくなることが明らかになった。これは燃料がメタンの場合では、希薄な時に選択拡散の影響を受けるためだと考えられる。このことから、メタン－空気の混合気の場合、

場合、拡散・熱的不安定性の影響を受けていると考えられる。

ここでメタンはレイ数数が 1 よりも小さく、プロパンはレイ数数が 1 よりも大きいという違いがある。この違いにより、メタン－空気の混合気では、燃料が希薄な場合に選択拡散の影響を受けたが、プロパン－空気の混合気では燃料が濃い場合に選択拡散の影響を受けると考えられる。そこで本研究では、プロパン－空気の混合気における選択拡散の影響を調べることにより、フラクタル次元に及ぼす不安定性を明らかにすることを目的とする。

3. 実験装置及び実験方法

Fig. 1 に同心二重円筒装置の概略を示す。同心二重円筒装置の外円筒は Pyrex 製、内円筒はアルミニウム製で、それらの全長は 676 mm で統一した。内円筒と外円筒の隙間を 10 mm で固定をした。外円筒（内円筒）の直径 D [mm] を 63.6(43.6) mm, 120(100) mm, 170(150) mm, 236(216) mm の 4 条件で実験を行った。それぞれの内円筒と外円筒の隙間の円周を火炎スケール L_f とし、 L_f [mm] は 168, 346, 503, 710 とした。燃料にはプロパンを使用し、

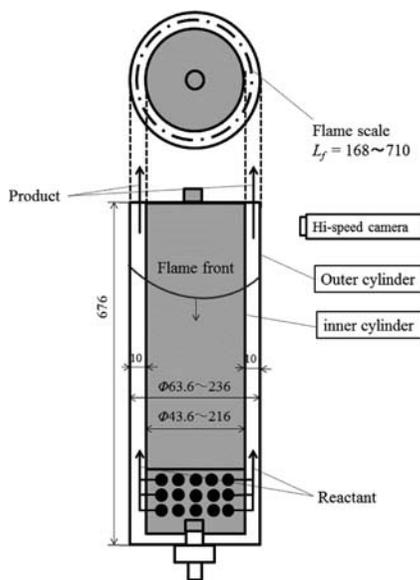


Fig. 1 同心二重円筒装置

プロパン-空気予混合気の当量比 Φ を 0.8~1.4 までの 0.1 ずつとした。混合気を内円筒下部から注入し、外円筒と内円筒の隙間を通過して、大気開放の装置上部へ平均流速 5 cm/s で流す。混合気を装置上部より点火し、一次元乱流火炎が装置上部から下方に向かって伝ばする。火炎が伝ばを始めたところから目印までの距離を伝ば距離とする。このときの火炎伝ばの様子を高速度カメラで撮影し、火炎が伝ばする時間を求めた。火炎の伝ばする距離と火炎の伝ば時間から速度の軸方向成分 V_f [m/s] を求めた。

4. 実験結果

Fig. 2 に実験より得られた、プロパン-空気の混合気における、それぞれの火炎スケールでの火炎伝ば速度と当量比の関係を示す。グラフより、すべて

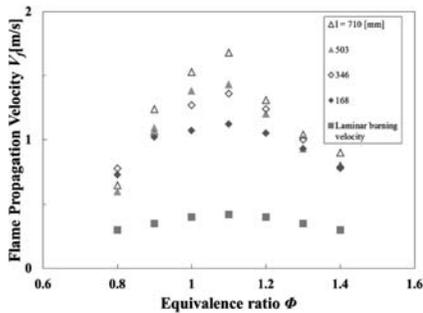


Fig. 2 火炎伝ば速度と当量比の関係

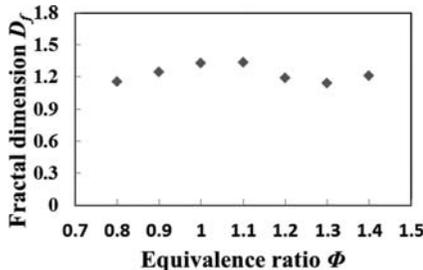


Fig. 3 フラクタル次元と当量比の関係

の火炎スケールにおいて、火炎伝ば速度は層流燃焼速度よりも速くなっているのがわかる。また、火炎スケールが大きくなるにつれ、火炎伝ば速度も速くなっていくことがわかった。

Fig. 3 にフラクタル次元と当量比の関係を示す。Fig. 3 より、当量比が 0.8~1.3 の範囲においてフラクタル次元と当量比の関係は、層流燃焼速度と当量比の関係とよく似ているのがわかる。これは流体力学的不安定性の影響を受けているためだと考えられる。また、当量比が 1.4 の時にはフラクタル次元の値が再び大きくなっている様子がみられた。これは、プロパン-空気の混合気では、燃料が濃い場合に選択拡散の影響を受けるためだと考えられる。しかし、当量比が 1.4 の時は、本研究において最も濃度が濃い場合の実験のため、火炎が不安定という問題があった。そのため、当量比が 1.4 におけるフラクタル次元の値については、もう少し詳しく調べる必要がある。

5. 結言

本研究では、同心二重円筒装置を用いてプロパン-空気の混合気における選択拡散の影響を調べることにより、フラクタル次元に及ぼす不安定性を明らかにすることを目的とした。その結果、フラクタル次元は当量比が 0.8~1.3 の範囲では拡散・熱的不安定性よりも、流体力学的不安定性の影響を受けていることが明らかになった。

6. おわりに

とても貴重な体験をすることができました。ご指導を頂いた野口佳樹先生、山形大学の桑名一徳先生や共同研究者の皆様にご心よりお礼を申し上げます。