

221 フラクタル次元解析による非定常気体噴流の形状特性

The Characteristic of a Gas Jet Shape by the Fractal Dimension Analysis

○学 粕谷 義介 (東電大院) 島 貴章 (東電大)

高荷 剛 (東電大) 正 国吉 光 (東電大)

Yoshisuke KASUYA, Takaaki SHIMA, Gou TAKANI, Hikaru KUNIYOSHI
Tokyo Denki University, Ishizaka, Hatoyama-machi, Hikigun, Saitama**Key Words :** Gas jet, Fractal dimension, Image processing

1. 緒言

直噴ディーゼルエンジンは様々な分野に活用されているが、有害物質であるHCやDEPを排出する。これらの有害物質を低減する方法として、燃料噴流（噴霧）と周囲気体との混合の促進が挙げられる。燃焼室内に噴射した燃料噴流は、周囲気体と激しく混合・拡散しながら成長していく。そのため、燃料噴流と周囲気体との混合気形成過程を解明することは不可欠である。

本研究では、これまでに、非定常気体噴流をシュリーレン法により可視化し、画像処理を行い形状の複雑さをフラクタル次元⁽¹⁾を用いて定量的に示し、非定常気体噴流の乱流混合特性を明らかにした⁽²⁾。本報ではさらに形状の異なるノズルを用い、ノズル形状がおよぼすフラクタル次元の影響を解明することを目的とする。

2. 実験装置および方法

本研究では気体噴流を可視化するためにシュリーレン法を用いる。実験装置の概要図を Fig.1 に示す。噴射系として蓄圧室内に噴射気体であるヘリウムガスを蓄え、電磁弁を開弁し、ホールノズルにより常温・常圧の静止大気中に鉛直上向きに単発噴射する。光源としてキセノン管より発せられた光は、ピンホール、凹面鏡を介し平行光となり噴流を通過する。この際、噴流の密度変化により平行光は屈折し、ナイフエッジにより明暗の像を映し出す。撮影装置としてデジタルカメラを用い、可視化画像をパーソナルコンピュータに取り込み、解析する。実験条件として噴射速度 $u_0=200\text{m/s}$ を一定とし、噴流特性⁽³⁾に影響をおよぼすノズル形状を Table1 のように変化させた。

3. 解析方法

シュリーレン法により得られた可視化画像から噴流形状について、フラクタル次元 D を算出する。その解析手法を Fig.2 に示す。

3.1 前処理 得られた可視化画像(解像度: $1280 \times 1000\text{pixel}$)は、噴流軸より右半分の噴流を切り取り、解析対象とした。可視化画像から背景画像を減ずることでノイズ除去を行い、噴流と周囲気体と判別するために適切なしきい値を与え2値化処理を行う。次に、噴流形状の輪郭を示すエッジ抽出を行う。

3.2 フラクタル次元算出 フラクタル次元 D の算出には、もっとも一般的な Box Counting 法を用いる。エッジ抽出した噴流画像を正方形のセルに分割し、セルの大きさと噴流である白い画像を含むセルの総数との関係を両対数グラフにプロットする。最小二乗法で直線の傾きを求め、その絶対値がフラクタル次元となる。

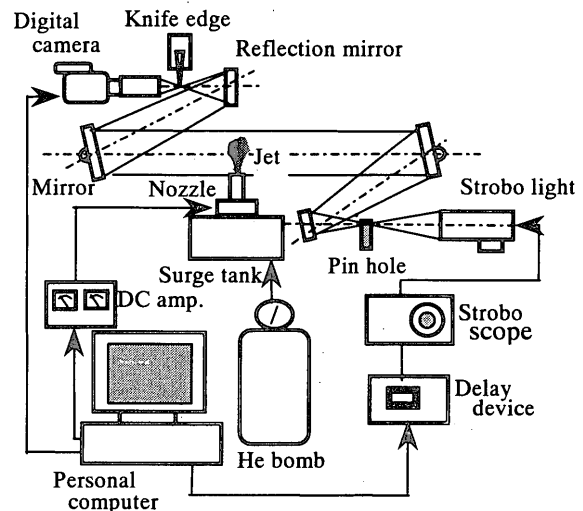


Fig.1 Image processing system applying Schlieren method

Table 1 Nozzle form

Nozzle diameter d (mm)	Nozzle length l (mm)	l/d
3	60	20
5	100	20
7	28	4
	84	12
	140	20

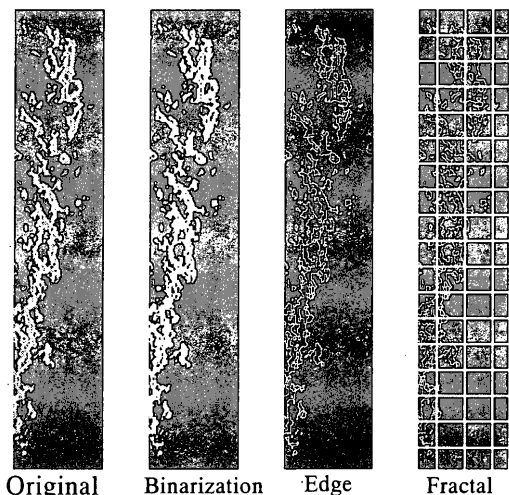


Fig.2 Analyzed processes

4. 噴流成長に伴う噴流長さの推移

Fig.3 は、ノズル内径 $d=7\text{mm}$ における噴射開始からの噴流長さ z の成長について、両対数で示したものである。 l/d が小さいほど噴流長さが短くなっている。また、どの l/d においてもほぼ 3ms において、噴流長さの成長の傾きが変わり、層流から乱流に移移する。Fig.4 に示すのは、ノズル内径 $d=7\text{mm}$ について完全に乱流に移移したあとの噴流角を示したものである。この図より、 l/d が小さいほど噴流角が広がっている。このように、Fig.3 と Fig.4 より、 l/d が小さいほど、噴流は短く噴流角は広くなり、 l/d が大きいと、噴流は長くなり、噴流角は狭くなる。

5. 噴流成長に伴うフラクタル次元の推移

噴射開始からのフラクタル次元の変化を Fig.5 に示す。ノズル内径 d についてみると、ノズル内径 d が大きいほどフラクタル次元は高くなる。また、 l/d の影響を見てみると、 l/d が小さいほどフラクタル次元は高く、噴流は活発に混合し、複雑な形成をしている。これは、Fig.3 と Fig.4 の結果より、 l/d が小さいほど噴流は短く、噴流角が広くなるという特性があり、半径方向に広がった分だけ、周囲気体をより多く取り込み、混合が活発になったといえる。噴流の成長に伴うフラクタル次元 D は、 $t=3\text{ms}$ 付近まで急激に上昇し、その後、ほぼ一定 ($D \approx 1.47 \sim 1.63$) となる。Fig.3 より $0 \sim 3\text{ms}$ の間では噴流は層流から乱流へ移移している時であり、噴流が急激に周囲気体を取り込み混合するため、フラクタル次元は低い次元から急激に高い次元へと変化する。 3ms 以降は、完全な乱流噴流となり、周囲気体を取り込み、活発に混合し、フラクタル次元は高くなるが、これ以上の活発な混合は行われないため、フラクタル次元は一定となる。Fig.6 に示すのは、それぞれのノズルにおける完全に乱流に移移したフラクタル次元 ($3\text{ms} \sim 10\text{ms}$) を平均したものである。ノズル内径が大きいほどフラクタル次元が高くなり、また、 l/d が小さくなるほどフラクタル次元は高くなる。したがって、噴流の形状はノズル内径 d と l/d の大きさにより影響され、噴流と周囲気体との混合を活発に行いフラクタル次元を高くするには、ノズル内径 d を大きくし、 l/d を小さくした方がよい。

6. 結言

本報では、形状の異なるノズルを用い、ノズル形状がおよぼすフラクタル次元の影響を解明した。

- (1) ノズル内径 d とノズル長さ l の無次元比 l/d が小さいほど、噴流長さは短くなるが、噴流角は広がる。
- (2) ノズル内径が大きいほどフラクタル次元は高くなる。
- (3) 噴流の成長に伴い、噴流全体のフラクタル次元は高くなり、乱流噴流になると高い次元で一定 ($D \approx 1.47 \sim 1.63$) になる。

参考文献

- (1) 高安ら・ほか 1 名, フラクタルって何だろう, (1988), ダイヤモンド社
- (2) 伊東ら・ほか 1 名, フラクタル次元解析による気体噴流形状の特性, 可視化情報全国講演会, Vol.19, Suppl.No2, 関西 99, 1999, p45, 46
- (3) 藤沢ら・ほか 1 名, ディーゼル燃料噴射, (1988), 山海堂

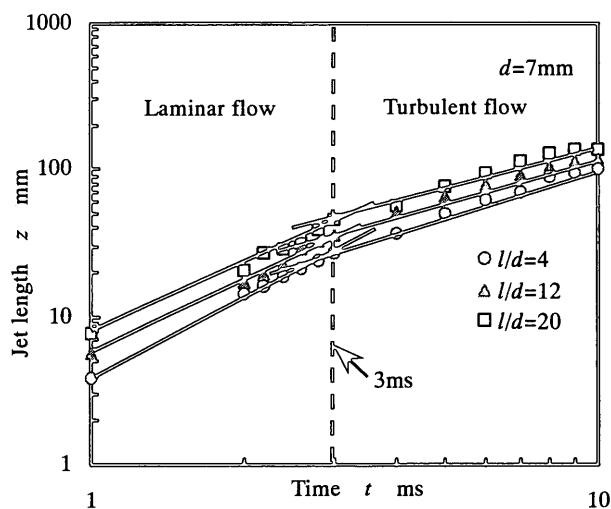


Fig.3 Jet length in the growth process

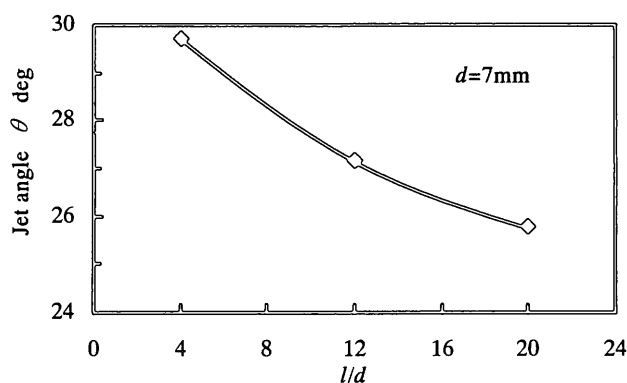


Fig.4 Jet angle

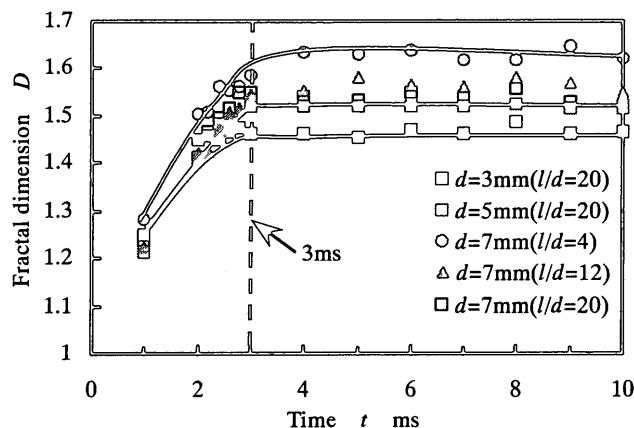


Fig.5 Fractal dimension in the growth process

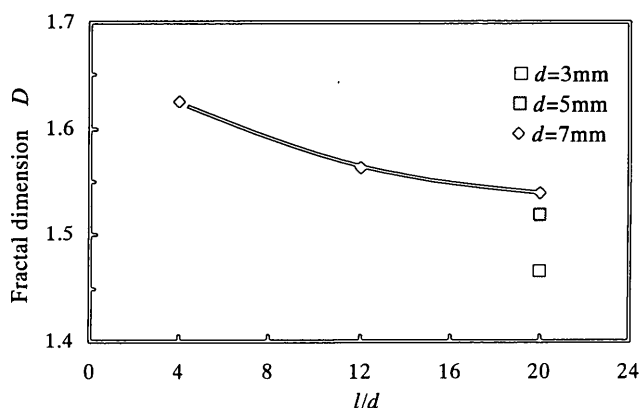


Fig.6 Fractal dimension by nozzle form