

## 噴霧—噴霧系衝突における挙動

## — 衝突後の微粒化現象と粒度分布 —

## Atomization Characteristics of Spray-Spray Impingement

## - Atomization behavior and size distribution after impingement -

齊藤 正浩, 新井 雅隆  
(Masahiro SAITO) (Masataka ARAI)

群馬大学  
(Gunma Univ.)

Atomization characteristics of spray-to-spray impingement of fluid injected from two EFI injectors was studied experimentally. The atomization behavior after impingement was observed in detail, and the size distribution and Sauter mean diameter of the spray were measured to investigate the effect of the mutual impingement. From photographs of jet-to-jet impingement, it was confirmed that a liquid film was formed by the impingement, and this liquid film disintegrated to small droplets. In the case of spray-to-spray impingement, on the other hand, relatively large droplets still existed in the spray after impingement. The duration of film disintegration after impingement was on the order of several milliseconds, and decreased with increasing impingement angle and injection pressure. The mutual impingement caused a reduction of the Sauter mean diameter of the impinged spray in the both cases of jet-to-jet and spray-to-spray impingement. Also, it was found that the shape of the size distribution was varied with impingement location.

**Key Words** : Atomization, Fuel Injection, Jet, Spray, Impingement, Size Distribution, Film Disintegration

## 1. 結 言

近年、燃料をシリンダー内に直接噴射する方式のガソリン機関の開発が行われているが、シリンダー内の燃料の濃度分布は壁面衝突噴霧の流動を気流によって制御する方式が採られている。しかしながら、内燃機関の運転における広い変化に対応した層状混合気を形成させるには充分ではない。そこで、筆者らは数個の噴射弁から噴射された噴霧を相互衝突させることにより、比較的低い噴射圧力で細かい噴霧をシリンダー壁面から離れた位置に空間的に形成する方式を提案する。

前報ではガソリン機関用のEFIノズルを用いて噴霧の相互衝突実験を行い、衝突位置や衝突角度による噴霧到達距離、噴霧の分散度および衝突後の噴霧の平均粒径などの基本的な特性を調べ発表した<sup>(1),(2)</sup>。本研究では、噴霧の相互衝突による微粒化現象をより詳細に観察するとともに、衝突後の噴霧の平均粒径や粒度分布が衝突位置によりどのように変化するかを調べた。

## 2. 実験装置および方法

実験装置の詳細は前報<sup>(1)</sup>を参照されたい。本実験では、ガソリン機関用のEFIノズル(ピントル式インジェクター、ノズル径0.8mm)を使用し、噴射圧力 $P=250\text{kPa}$ 、噴射周期 $f=50\text{Hz}$ 、噴射期間 $\tau=2.5\text{ms}$ 、流量 $Q=10.2\text{cm}^3/\text{min}$ の条件で行った。また、供試液体としては取り扱いの容易さからエタノールを用いた。衝突後の微粒化現象を詳細に調べるために、マイクロレンズとクローズアップを装着したカメラを用い、単一パルス発生回路を利用した単一閃光による間欠噴霧の瞬間影写真を撮影した。また、衝突後の噴霧の平均粒径は粒径解析装置(Malvern 2600C)を用いて測定した。

## 3. 実験結果と考察

## 3.1 衝突位置による微粒化挙動の相違

図1に衝突角度 $\theta=90\text{deg}$ .における噴流-噴流衝突の場合( $Z_1=Z_2=10\text{mm}$ )の微粒化挙動の経時変化を示す。 $Z_1, Z_2$ は2つのインジェクターの先端からそれぞれの噴霧が衝突する点までの距離である。写真から、

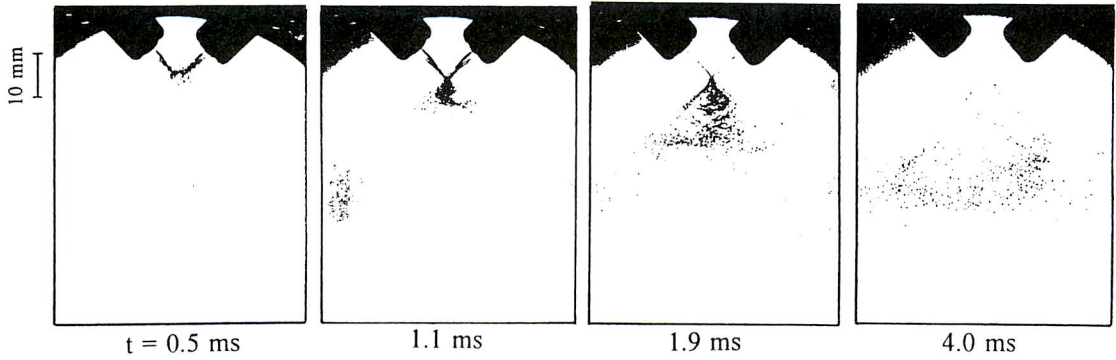


Fig.1 Photographs of jet-to-jet impingement.  
 ( $\theta = 90 \text{ deg.}$ ,  $Z_1=Z_2=10 \text{ mm}$ ,  $P=250 \text{ kPa}$ ,  $f=50 \text{ Hz}$ ,  $\tau = 2.5 \text{ ms}$ )

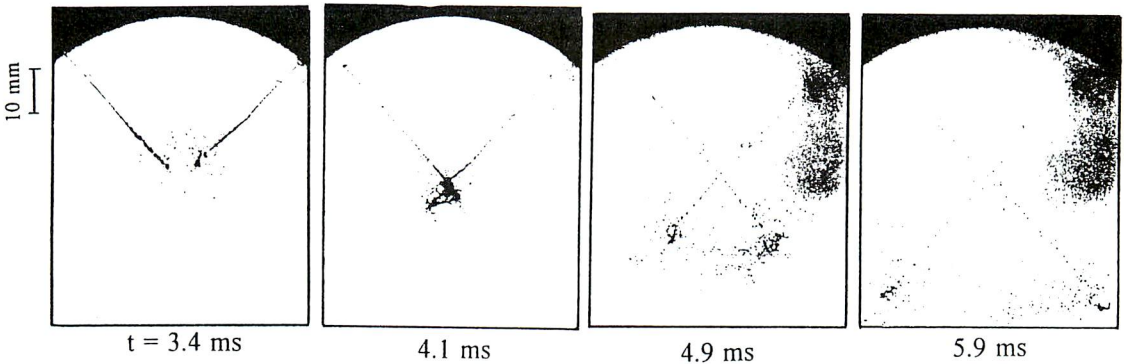


Fig.2 Photographs of spray-to-spray impingement.  
 ( $\theta = 90 \text{ deg.}$ ,  $Z_1=Z_2=50 \text{ mm}$ ,  $P=250 \text{ kPa}$ ,  $f=50 \text{ Hz}$ ,  $\tau = 2.5 \text{ ms}$ )

$t=0.5\text{ms}$ は衝突直前であり未分裂の液柱状態である。  
 $t=1.1\text{ms}$ では2つの液柱が噴流状態で衝突した後に液膜を形成する。その後膜分裂により細かい液滴へと微粒化が進行する ( $t=1.9\text{ms}$ )。さらに、 $t=4.0\text{ms}$ ではほぼ完全な微細噴霧となることがわかる。

一方、噴霧-噴霧衝突の場合 ( $Z_1=Z_2=50\text{mm}$ ) を図2に示す。 $t=3.4\text{ms}$ は2つの噴霧は衝突直前の状態にある。噴霧は相互衝突した後に液膜が形成される ( $t=4.1\text{ms}$ )、その後膜分裂しながら細かな液滴となるが、それぞれの噴霧が貫通して比較的粗い液滴が存在している ( $t=4.9\text{ms}$ )。  $t=5.9\text{ms}$ に至っても衝突しない粗い噴霧が残存している様子が観察される。

### 3.2 衝突後の膜分裂

先に示した写真からわかるように、噴霧の相互衝突による微粒化過程は、衝突によって液膜が形成され、これが分裂して細かい液滴になるいわゆる膜分裂が主体となっている。図3に液膜分裂過程の詳細を示す。衝突により液膜が形成されてから液膜が分裂して完全な噴霧となるまでの時間を膜分裂持続時間  $t_f$  と定義する。噴霧-噴霧衝突の場合の  $t_f$  の測定結果を図4に示す。図から膜分裂持続時間は噴射圧力が高くなるほど、衝突角度が大きくなるほど短くなる。また、この結果から膜分裂の時間は約0.5~3.5msのオーダーであることがわかる。噴流-噴流衝突の場合の  $t_f$  もほぼ同様の傾向を示した。

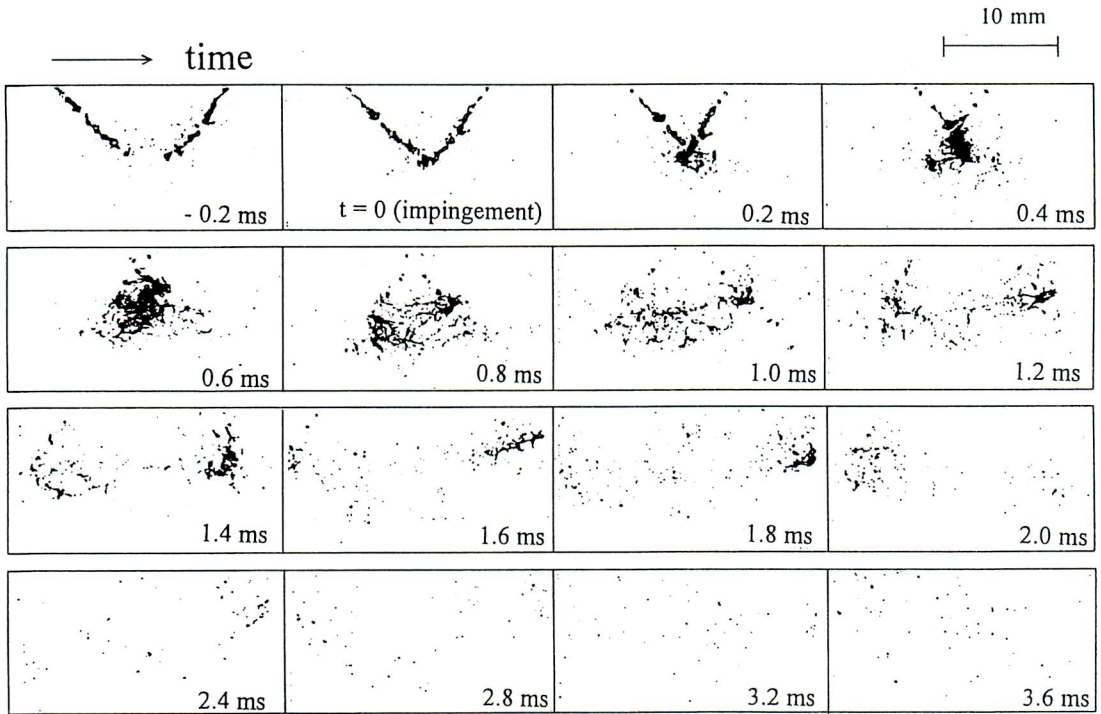


Fig.3 Behavior of film disintegration after spray-to-spray impingement.  
 ( $\theta=90$  deg.,  $Z_1=Z_2=50$  mm,  $P=250$  kPa,  $f=50$  Hz,  $\tau=2.5$  ms)

### 3.3 平均粒径に及ぼす衝突位置および衝突角度の影響

図5に  $\theta=90$ deg. の場合における平均粒径に及ぼす衝突位置の影響を示す。まず、自由噴霧の微粒化特性に関しては前報<sup>(2)</sup>で述べたように、 $t=5$  ms (噴霧到達距離=70mm) 以降で自由噴霧のザウタ平均粒径  $D_{32}$  は約  $330 \mu\text{m}$  とほぼ一定値となり、噴霧は充分発達しているものと考えられる。このことから、噴霧粒径の計測位置はインジェクターからの距離  $Z_m=100$ mm と固定して計測した。また、図において  $t < 7$  ms では空間に漂っている前サイクルの噴霧を測定しており、この浮遊している噴霧の粒径計測では、その obscuration (噴霧によるレーザー光の減衰割合) の値が 0.02 以下と非常に小さく、このような噴霧濃度の低いところでの計測データの信頼性は乏しいと考えられる。ちなみに本実験で使用した Malvern 2600C では obscuration 値が 0.2 付近が理想値である。したがって、本報では 7 ms 以後に現れる噴霧の主流の平均粒径に着目し、自由噴霧と衝突噴霧の場合を比較することで衝突位置や衝突角度の影響を議論することにする。

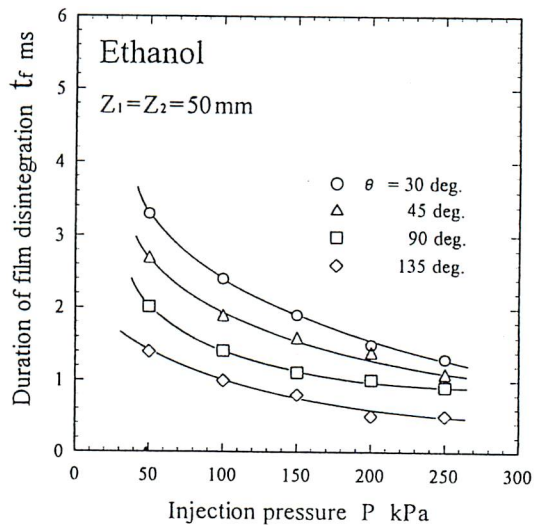


Fig.4 Duration of film disintegration after spray-to-spray impingement.

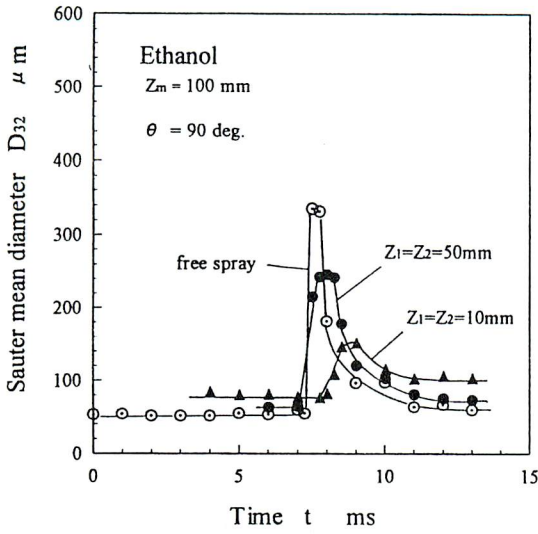


Fig.5 Effect of impingement location on Sauter mean diameter

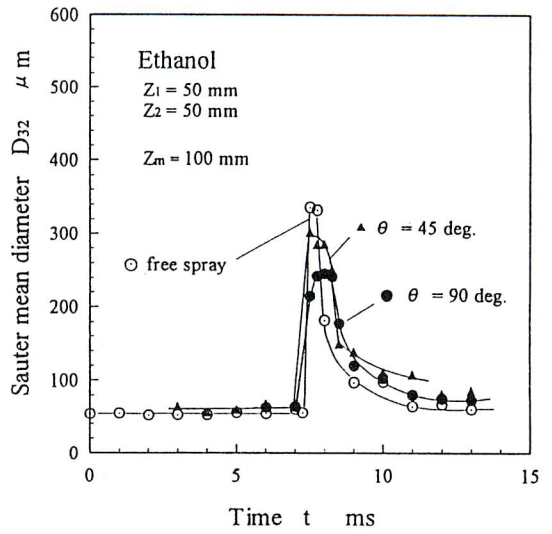


Fig.6 Effect of impingement angle on Sauter mean diameter

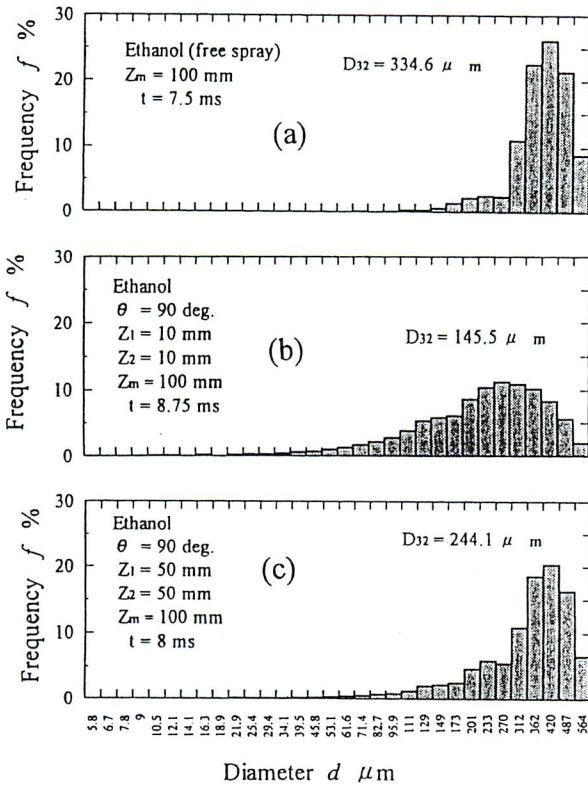


Fig.7 Size distribution of spray at peak SMD timing.  
(a) free spray, (b) jet-to-jet impingement, (c) spray-to-spray impingement

図中の○は比較のための自由噴霧のザウタ平均粒径  $D_{32}$  であり、噴霧の先端部が測定部に到達した  $t=7.5\text{ms}$  付近で粒径はピーク値 ( $D_{32}=330\mu\text{m}$ ) となる。次に、噴流-噴流衝突の場合(▲)の  $D_{32}$  のピーク値は約  $150\mu\text{m}$  であり、自由噴霧に比較して1/2程度に減少していることから、噴流の相互衝突によって微細な噴霧が形成されていることがわかる。このとき  $D_{32}$  のピーク値が自由噴霧に対して1~2ms遅れて現れるのは、衝突により運動量交換が行われて噴霧先端の速度が低下したためである。また、噴霧-噴霧衝突の場合(●)の  $D_{32}$  のピーク値は約  $250\mu\text{m}$  であり、噴流-噴流衝突の場合ほどは減少していないが、噴霧衝突によっても再分裂が起きているものと考えられる。

図6に噴流-噴流衝突の場合におけるザウタ平均粒径に及ぼす衝突角度の影響を示した。図から衝突角度が大きいほど衝突後のザウタ平均粒径は小さくなる。

### 3.4 衝突位置による粒度分布の相違

図7は衝突位置による衝突後の噴霧の粒度分布を比較したものである。図から明らかなように、噴霧-噴霧衝突(c)の場合の粒度分布形は自由噴霧(a)とほぼ同様のものとなることから、噴霧-噴霧衝突では相互の噴霧が貫通していると考えられる。これに対して、噴流-噴流衝突(b)の場合は大粒径側での鋭いピークは見られず小粒径側に裾を引いたブロードなヒストグラムとなる。これは、噴流-噴流衝突の場合は衝突の運動量が大きいので衝突後微細な噴霧が形成される。

## 4. 結 言

ガソリン機関用のEFINozルを使用して噴流および噴霧相互の衝突実験を行い、以下のような結果を得た。

(1) 写真撮影により、噴流-噴流衝突および噴霧-噴霧衝突いずれの場合も基本的には衝突直後に液膜を形成し、その液膜が分裂するいわゆる膜分裂によって細かな噴霧となるのが観察された。しかし、噴霧-噴霧衝突の場合には相互の噴霧が貫通するため粗い液滴が噴霧中に残存する。

(2) 衝突によって液膜が形成されてからその膜が分裂して完全な噴霧となるまでの時間は約0.5~3.5msであった。

(3) 噴流-噴流衝突の場合、衝突後のザウタ平均粒径は、自由噴霧のザウタ平均粒径に比べて約1/2程度に減少した。一方、噴霧-噴霧衝突の場合でも衝突後

のザウタ平均粒径は自由噴霧の約70%程度になることから、液滴相互の衝突による再分裂が起きていると考えられる。

(4) 自由噴霧および噴霧-噴霧衝突の場合の粒度分布は、いずれも大粒径側で個数頻度がシャープなヒストグラムとなるが、噴流-噴流衝突の場合の粒度分布は大粒径側での鋭いピークはなくなり小粒径側に裾を引いたブロードなヒストグラムとなる。

## 謝 辞

本研究は、日本機械学会P-SC257「エンジンに於ける燃料噴霧研究分科会」の一環として行われました。また、実験に協力された稲垣智久君に感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 齊藤, 荻原, 天谷, 新井, 第5回微粒化シンポジウム講演論文集, (1996), 219-224.
- (2) 齊藤, 荻原, 天谷, 新井, 微粒化, 第6巻, 14号 (1997) 29-35.



齊藤 正浩  
群馬大学工学部  
機械システム工学科 助手  
〒376-8515 桐生市天神町 1-5-1  
Tel: 0277-30-1523  
Fax: 0277-30-1521  
E-mail: msaito@cc.gunma-u.ac.jp

略歴：1973年群馬大学工業短期学部電気工学科卒業。主として電界を利用した燃焼及び液体の微粒化に関する研究を行っている。



新井 雅隆  
群馬大学工学部  
機械システム工学科 教授  
〒376-8515 桐生市天神町 1-5-1  
Tel: 0277-30-1522  
Fax: 0277-30-1521  
E-mail: arai@me.gunma-u.ac.jp

略歴：1977年東北大学大学院工学研究科博士後期課程修了。主として微粒化機構、ディーゼル噴霧、低重力・高重力場での熱伝達、高温燃焼、廃棄物の燃焼に関する研究を行っている。