

## Team Cavi 燃料噴射ノズル内におけるキャビテーション現象の基礎的解明

担当者

松浦匡洋 (M2) 矢野紘嵩 (M1) 吉田靖也 (B4) 大石哲生 (B4)

2017 年度班紹介資料

## 1. 研究背景および目的

近年、地球環境保全の観点から高出力かつ高効率な筒内直接噴射式ガソリンエンジン（直噴ガソリンエンジン）に注目が集まっている。直噴ガソリンエンジンは、燃焼室内に直接燃料を噴射することで混合気形成を行なうため、気化潜熱により充填効率と耐ノック性を向上することが可能となる。しかしながら、ポート噴射式ガソリンエンジンと比較して短時間での混合気形成が求められる。今後ますます厳しくなる燃費規制に対応するには燃料噴霧特性のさらなる向上が重要となる。

ノズル内流動は燃料の噴霧特性に影響を与えることが知られており、キャビテーション現象がノズル内流動に影響を及ぼしていると考えられる。キャビテーションは、液体の圧力が低下することで気泡が発生する現象である。ノズル内部においては、急縮小部である噴孔部入口においてキャビテーションは発生する。発生した気泡は、噴孔部下流への移動に伴い成長し、周囲液体の圧力回復により収縮し崩壊に至る。気泡崩壊時には多大なエネルギーが発生し、燃料噴霧の微粒化を促進すると考えられている。しかしながら、実機ノズル内においてキャビテーション現象の詳細な挙動および噴霧特性への影響について明らかになっていない。

本研究では、直噴ガソリンエンジン用噴射ノズルを対象とし、ノズル内におけるキャビテーションがノズル内流動および噴霧特性に与える影響を把握することを目的としている。本報では、噴孔角が異なる拡大ノズルのノズル内流動および液体噴流をハイスピードビデオカメラにより撮影し、キャビテーション挙動および噴流の非対称性について調査した。

## 2. 実験装置および実験条件

## 2.1 実験装置

本実験に用いた液体噴射装置および撮影光学系の概略を図 1 に示す。ボンベに充填された窒素によって、タンク内の供試液体は任意の圧力まで加圧される。加圧された供試液体は電磁弁によって制御され、

減衰容器を通過した後、供試ノズルから大気圧場へと噴射される。噴射圧力はサック相当部に設置した半導体式圧力センサ (PMS-8M-2, 周波数特性: 1Hz~100Hz, 圧力計測範囲: -100kPa~10MPa, JTEKT 製) によって測定される。光源にはメタルハライドランプを使用した。光源から放たれた光は拡散板を介して輝度むらを低減させた後、拡大ノズルへと照射される。撮影には、ノズル前方に設置したハイスピードビデオカメラ (FASTCAM SA-Z, Photron 製) を用い、噴射圧力がほぼ一定とみなせる期間内に行なった。

## 2.2 実験条件

本実験の実験条件および供試ノズルの形状をそれぞれ表 1 および図 2 に示す。表 1 において、(I) は拡大ノズルにおける実験条件、(II) は拡大ノズルの代

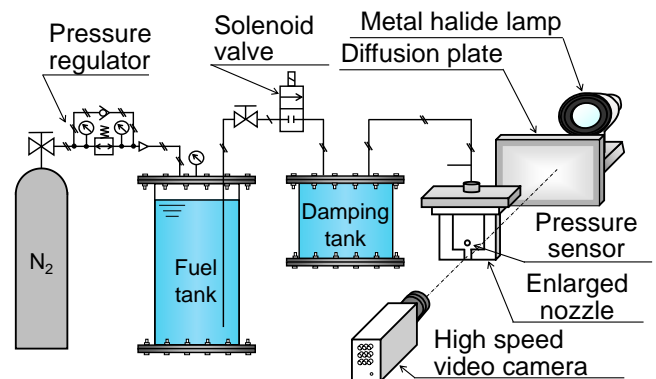


Fig.1 Liquid injection system and optical setup for back light photography

Table 1 Experimental conditions  
(I) 25-times enlarged nozzle

Test liquid			Water
Saturated vapor pressure	$P_v$	[kPa]	3.2
Injection pressure	$P_{inj}$	[kPa]	145~2000
Ambient pressure	$P_{amb}$	[kPa]	101.3
Reynolds number	$Re \times 10^4$	[-]	4.0~26.4
Cavitation number	$K$	[-]	0.05~2.24

(II) Actual nozzle

Test liquid			Iso-octane
Saturated vapor pressure	$P_v$	[kPa]	5.4
Injection pressure	$P_{inj}$	[kPa]	11~350
Ambient pressure	$P_{amb}$	[kPa]	0.4
Reynolds number	$Re \times 10^4$	[-]	2.81~18.4
Cavitation number	$K$	[-]	0.001~0.0487

わりに実機ノズルを用いた際に Reynolds の相似則に基づいて想定される実験条件である。供試ノズルは、光学的計測を容易に行なうため、実機ノズルの寸法（噴孔直径：0.15 mm，噴孔長さ：0.70 mm）を幾何学的に 25 倍拡大したアクリル製の可視化ノズルとした。また、現象の単純化を図るためノズル形状は二次元矩形（奥行き 5 mm）とした。噴孔角  $\alpha$  は  $0^\circ$ ， $20^\circ$ ， $40^\circ$  とした。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 キャビテーションおよび噴流の様子

噴孔角  $\alpha$  の異なるノズルにおいて、得られた代表画像をそれぞれ図 3 に示す。噴孔内部で発生したキャビテーションは背景光撮影により黒く撮影される。図 3(b)より噴射圧力  $P_{inj}$  を増加させると流れが壁面から剥離したまま噴出される Hydraulic-flip と呼ばれる現象が生じ、噴流の拡がりは抑制することが確認できる。 $\alpha=0^\circ$  のノズルでは、左右の壁面どちらでもキャビテーションは発生したが、 $\alpha=20^\circ$  および  $40^\circ$  のノズルではキャビテーションは左壁面のみに生じた。 $\alpha=20^\circ$ ， $40^\circ$  のノズル流入部左側においては流入角が鋭角であるため、容易に剥離が生じ、圧力の低下によりキャビテーションが発生した。しかしながら、

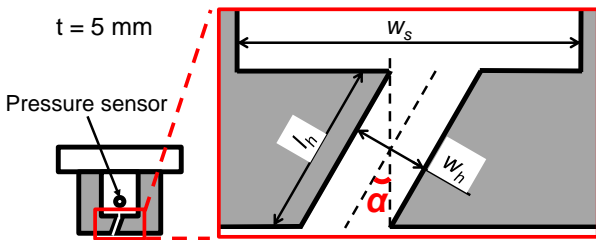


Fig.2 Nozzle configurations

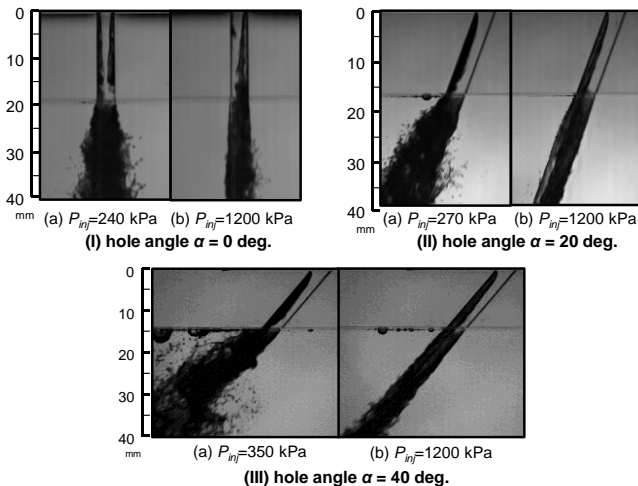


Fig.3 Images of cavitation inside the nozzle and liquid jet

流入部右側は流入角が鈍角となり剥離が生じず、大きな圧力低下が起こらなかったため、噴孔角  $\alpha$  を有するノズルの流入部右側では、キャビテーションが発生しなかったと考えられる。

#### 3.2 噴孔角および左右噴流幅の関係

噴流の拡がり进行评估するため、噴孔部出口より下流位置  $2l_h$  における噴流幅を  $w$  と定義し、ノズル中心軸に対して二分した左右の噴流幅をそれぞれ  $w_l$  および  $w_r$  と定義した。無次元噴流幅  $w_l/w_h$  および  $w_r/w_h$  を噴射圧力  $P_{inj}$  で整理した結果を図 4 に示す。ここで、無次元噴流幅  $w_l/w_h$  および  $w_r/w_h$  はそれぞれノズルの中心軸に対して左側の噴流幅  $w_l$  および右側の噴流幅  $w_r$  を噴孔幅  $w_h$  で除した値である。右側および左側における噴流幅の差異に着目すると、図 4 より、 $\alpha=20^\circ$  および  $40^\circ$  の双方において無次元噴流幅  $w_r/w_h$  より  $w_l/w_h$  の方が大きい値を示すことを確認できる。これは、噴孔角  $\alpha$  を有する場合、左側壁面のみにキャビテーションが発生し、キャビテーションが発生した側の噴流は、より大きなキャビテーションによる液流の乱れの影響を受けたためであると考えられる。

### 4. 今後の予定

これまで、拡大ノズルを用いて噴射条件や噴孔形状がキャビテーションや噴流に与える影響を解明するために実験を行なってきたが、実機ノズルとの相関性に関する詳細な研究はなされていない。今後、拡大ノズル実験により明らかになったキャビテーションの発生周波数と分裂過程の関係を実機ノズルでも確認する予定である。さらに、噴霧の分裂モデルを構築し、気泡力学に基づくキャビテーションモデルと組み合わせることで、ノズル内流動および噴霧挙動の一連の流れを数値解析可能とする予定である。

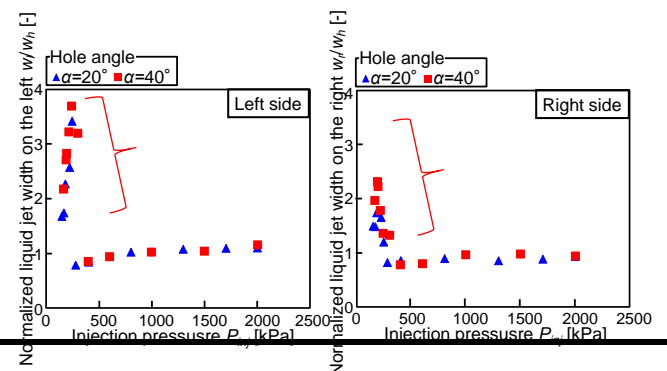


Fig.4 Effect of injection pressure on liquid jet width