



研究論文

## 壁面衝突型ジェットエンジン用燃料噴射弁の 微粒化特性と燃焼特性に及ぼすノズル形状の影響

Effect of the Nozzle Configuration on the Atomization and Combustion Characteristics  
in a Jet Engine Fuel Injector with Wall Impingement

茂木 宣昭 (Nobuaki MOTEGI) 群馬大学 (Gunma Univ.)	山田 秀志 (Hideshi YAMADA) 宇宙航空研究開発機構 (JAXA)	山村 聡史 (Satoshi YAMAMURA) 群馬大学 (Gunma Univ.)
荒木 幹也 (Mikiya ARAKI) 群馬大学 (Gunma Univ.)	中村 壽雄 (Hisao NAKAMURA) 群馬大学 (Gunma Univ.)	志賀 聖一 (Seiichi SHIGA) 群馬大学 (Gunma Univ.)

Effects of nozzle configuration on atomization and combustion characteristics in a jet engine fuel injector with wall impingement are investigated experimentally under an atmospheric condition. Diameter  $D$  and the number of nozzles  $N$  were varied.  $D$  was an 0.15 and 0.20 mm.  $N$  was 8 and 6. For droplet size measurement, Droplet size (SMD) was measured by using an LDSA. Atomization mode of the current experiment was in the air-blasting atomization mode, since the injection pressure was lower than the transition value of 1.0 MPa. When the nozzle diameter is greater, the SMD was also greater and  $\text{NO}_x$  was lower. This is due to the better dispersion of the spray. When the number of nozzle is less, the  $\text{NO}_x$  is also lower. This is due to the lower dispersion of the spray.

Keywords : Jet Engine Fuel Injector, Pressure Atomization, Air-Blasting Atomization, Wall Impingement, SMD, Combustion characteristics

### 1. 緒言

航空機から排出される  $\text{NO}_x$  が、オゾン層破壊の 1 つの原因となっている。高空における  $\text{NO}_x$  排出量の約 60 %が航空機によるといわれており、航空機用エンジンに対する低  $\text{NO}_x$  化のニーズは非常に高まっている。低  $\text{NO}_x$  化を実現する方法として、予蒸発予混合(LPP: Lean Prevaporized Premixed)による希薄燃焼がある。その実現のため、燃料噴霧の微粒化特性改善は重要な課題である。

現在、ジェットエンジン用燃料噴射弁にはエアブラスト式が広く用いられている。壁面上に形成された薄い液膜を大量かつ高速の空気流によって微粒化する方法である<sup>(1)</sup>。噴霧の分散性が高く、高負荷条件でもすすの生成が少ないという特徴を持っている。一方で、噴霧燃料の微粒化程度は空気流速に依存する。空気流速の遅い条件で粒径が増大し、局所的な高温燃焼領域の形成により  $\text{NO}_x$  排出量が増大する。噴霧粒径はザウター平均粒径(SMD : Sauter Mean Diameter)で約 50  $\mu\text{m}$  が限界であり、更なる微粒化促進が必要である。

著者らは、従来使用されているエアブラスト式燃料噴射弁に対し、壁面衝突を伴う圧力微粒化<sup>(2)</sup>を適用することを提案し、微粒化特性改善を試みてきた<sup>(3)(4)</sup>。液柱状の液体噴流を小さな壁面に衝突させると、空間中に自由液膜が形成される。液膜は非常に薄く、その端部から微細な噴霧が放出される<sup>(2)</sup>。ジェットエンジン用燃料噴射弁に壁面衝突微粒化を適用することで、(i)エアブラスト式における、空気流速が小さい条件での微粒化程度悪化の問題を解決し、(ii)エアブラスト式では

達成困難な、最小 SMD=10 $\mu\text{m}$  程度の噴霧を形成することを目標としている。

本研究は微粒化促進の可能性を明らかにするための微粒化に関する基礎研究にはじまり、実用ガスタービンにおける燃焼研究までの系統的解明をめざしており、以下のステップに分類される。

- ① 微粒化に関する基礎研究
- ② 大気圧条件における燃焼研究
- ③ 高圧条件における燃焼研究
- ④ 実用ガスタービンにおける燃焼研究

ステップ①では、これまでノズル数  $N=3$  (ノズルピッチ 15°) における基礎的研究を行ってきた<sup>(5)</sup>。本燃料噴射弁の実機への適用を想定した場合、微粒化程度だけでなく燃焼器における噴霧の分散性および広い運転範囲への燃料供給を考慮する必要がある。そこでノズルを全周に配置し、ノズル数  $N=8$  (ノズルピッチ 45°) の噴射弁を製作し、噴霧粒径・噴霧分散性について実機の運転条件に準じた幅広い条件下で実験的に研究を行い、噴射弁形状と噴霧特性の関係性を明らかにしてきた<sup>(6)</sup>。

これらステップ①の知見に基づいて燃焼研究のステップに進む場合、大気圧と高圧の条件における空気流量が大きく異なるという問題が生ずる。想定しているガスタービンの圧力比をたとえば 7 とした場合、温度が同一条件であれば、空気流量は 7 倍異なる。したがって、ノズル条件を同一にすれば、大気圧燃焼の場合の燃料噴射速度は 1/7、そして噴射圧力は 1/49 にしなければならない。このように、大気圧下での燃焼における実験条件は、微粒化にとって決定的に重要な噴射圧力に対して大きな制約を与えることになる。

しかしながら、ここでは、実験技術的に実施が可能であること、微粒化モードが圧力微粒化モードの領域に到達できない、あるいは条件によっては壁面衝突すらしない程度の運動量しか与えられない可能性はあるが、限られた条件における噴霧粒径や噴霧分散性が燃焼特性に及ぼす影響を明らかにすることは、次のステップの結果と比較する上で重要であると考えられることから、大気圧条件下での燃焼研究を行った。

## 2. 実験装置および方法

### 2.1 壁面衝突型ジェットエンジン用燃料噴射弁

Fig.1 に燃料噴射弁断面を示す。空気流は二重の同軸円環より供給され、それぞれに設置されたスワローにより同一方向のスワールを生成する。液体はピントルと呼ばれる筒状部分の内部を通り、その先端に放射状にあげられたノズルより噴射される。噴射された液体は、中間リング上に設置された衝突壁面に衝突し、液膜を形成する。液膜の端部より液滴が生成され、空気流により噴射される。

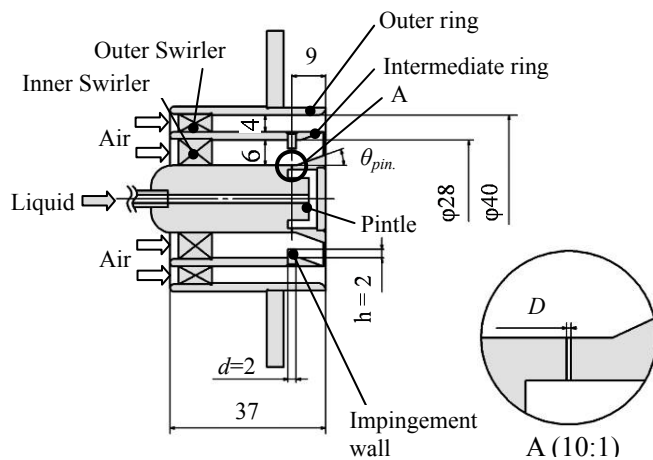


Fig.1 Cross sectional view of fuel injector

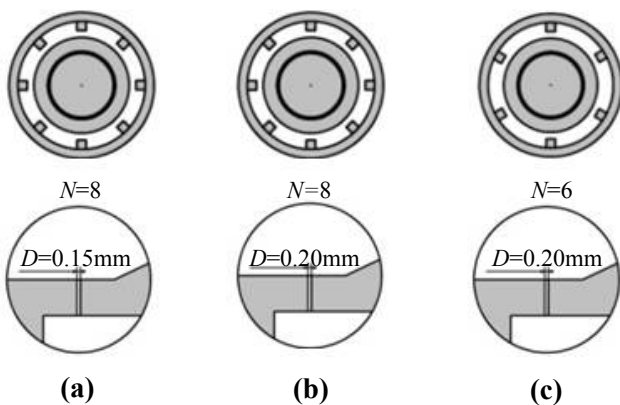


Fig.2 Variation of fuel injector

Fig.2 に今回使用した 3 種類の燃料噴射弁を示す。ノズル直径  $D$  とノズル数  $N$  を変化させた。それぞれ、(a) $D=0.15\text{mm} \cdot N=8$ , (b) $D=0.20\text{mm} \cdot N=8$ , (c) $D=0.20\text{mm} \cdot N=6$  である。(a)と(b)を比較することで、ノズル直径  $D$  が微粒化特性と燃焼特性に及ぼす影響について検討する。(b)と(c)を比較することで、ノズル数  $N$  が微粒化特性と燃焼特性に及ぼす影響について検討する。各噴射弁の他の部分の形状は同じである。衝突壁面形状はシリンダタイプ。衝突壁面高さ  $h=2\text{mm}$ 。衝突壁面直径  $d=2\text{mm}$ 。インナースワローの羽角度(スワロー翼のミッドスパン位置、即ちチップ半径とハブ半径の平均となる半径位

置における迎角で定義。旋回角の符号は噴射弁を下流より見たときの旋回が左回りの場合を正とする)  $ISA=+45^\circ$  (7)。アウトースワローの羽角度  $OSA=+45^\circ$  (7)。ピントル角度  $\theta_{pin}=20^\circ$  である。

### 2.2 噴霧粒径計測

Fig. 3 に実験装置概略を示す。噴霧粒径計測では、噴射軸方向が水平となるように燃料噴射弁を設置する。石英管を取り外して粒径計測を行う。微粒化用空気は遠心送風機より供給され、空気流量計、ヒータ、全圧室を通過し燃料噴射弁より大気中に噴射される。全圧室内圧力はインバータで調整し、100~500 mmAq とした。空気流速は気温  $30^\circ\text{C}$  におけるポテンシャル速度とし、全圧室内圧力より算出した。このときの空気流のポテンシャル速度は  $41\sim 92\text{m/s}$  である。この空気流速は、実機で想定される範囲を網羅するように設定してある。供試液体は連続無脈動定量液体移送装置で加圧され、噴射弁より空気流中に噴射される。液体噴射圧力  $P_{inj}$  はインバータで調整し、液体噴射圧力  $P_{inj}$  を  $0.1\sim 1.5\text{MPa}$  とした。入口空気温度(全圧室内温度)  $T_{in}$  は常温である。

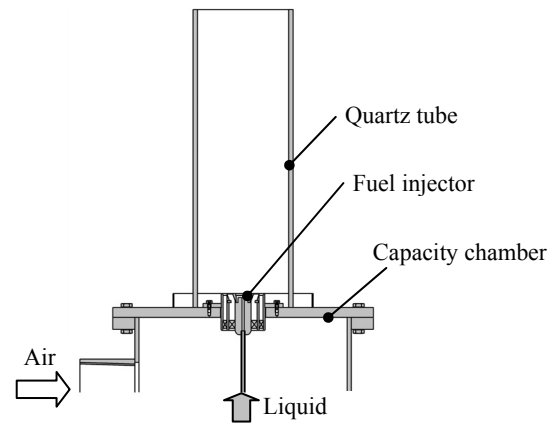


Fig.3 Schematic of experimental setup

微粒化特性の評価には、前方微小角散乱法を用いたレーザー光散乱法粒径計測装置(東日コンピュータアプリケーションズ, LDSA-1300A)を用いた。プローブレーザー光の直径は、約  $10\text{mm}$  である。プローブレーザー光の中心が噴射弁端面下流  $50\text{mm}$ 、噴射弁中心より鉛直上方  $15\text{mm}$  の位置を通るように装置を設置する。噴霧粒径計測はすべて大気雰囲気下で行った。噴霧液体には蒸留水を用いた。実機で想定される燃料油との性状の違いは生成される液滴の粒径に影響を及ぼす。燃料油を使用した場合、蒸留水を用いた場合より SMD が増大することはなく良好な微粒化程度を得ることになる。

### 2.3 燃焼実験

燃焼実験はすべて大気雰囲気下で行った。燃焼実験では、噴射軸方向が鉛直上方となるように燃料噴射弁を設置する。石英管は長さ  $300\text{mm}$ 、内径  $100\text{mm}$  である。排気サンプリングには十字型水冷サンプリングプローブを用いた。排気分析は、ポータブルガス分析計(堀場製作所, PG-240)及び汎用ガス分析計(堀場製作所, FIA-510, VIA-510)で分析し、 $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{THC}$  の濃度を測定した。排気計測位置は全圧室端面下流  $300\text{mm}$ 、全圧室内圧力は  $300\text{mmAq}$ 、入口空気温度  $T_{in}$  は  $200^\circ\text{C}$ 、燃料は灯油である。燃焼効率 C.E.は、排気成分中の  $\text{CO}$ ,  $\text{THC}$  の濃度より、式(1)を用いて算出した。

$$\text{C.E.} = \left[ 1 - \left( \frac{M_{\text{CO}} H_{u,\text{CO}} + M_{\text{THC}} H_{u,\text{THC}}}{M_f H_{u,f}} \right) \right] * 100\% \quad (1)$$

ここで,  $H_{uf}$ : 燃料の低位発熱量[MJ/kg],  $H_{u,CO}$ : COの低位発熱量[MJ/kg],  $H_{u,THC}$ : THCの低位発熱量[MJ/kg],  $M_f$ : 燃料質量[kg],  $M_{CO}$ : 排気成分中のCOの質量[kg],  $M_{THC}$ : 排気成分中のTHCの質量[kg]である。

火炎の画像取得には, CCDカメラを用い, 露光時間は2 s以上,  $F$ 値は8,  $ISO$ は400とした。現象に対して露光時間が長い時間平均像が取得される。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 ノズル直径 $D$ が微粒化特性と燃焼特性に及ぼす影響

##### 3.1.1 微粒化特性

はじめに, 微粒化モードについて検討する。Fig.4(a), (b)に空気流速および液体噴射圧力  $P_{inj}$  が SMD に及ぼす影響を示す。両噴射弁で  $P_{inj} \leq 0.5\text{MPa}$  で SMD が全圧室圧力の増大とともに減少する。微粒化モードが気流微粒化モード<sup>(6)</sup>であることがわかる。両噴射弁で  $P_{inj} \geq 1.0\text{MPa}$  で SMD が全圧室圧力の増減によらずほぼ一定となる。微粒化モードが圧力微粒化モード<sup>(6)</sup>であることがわかる。

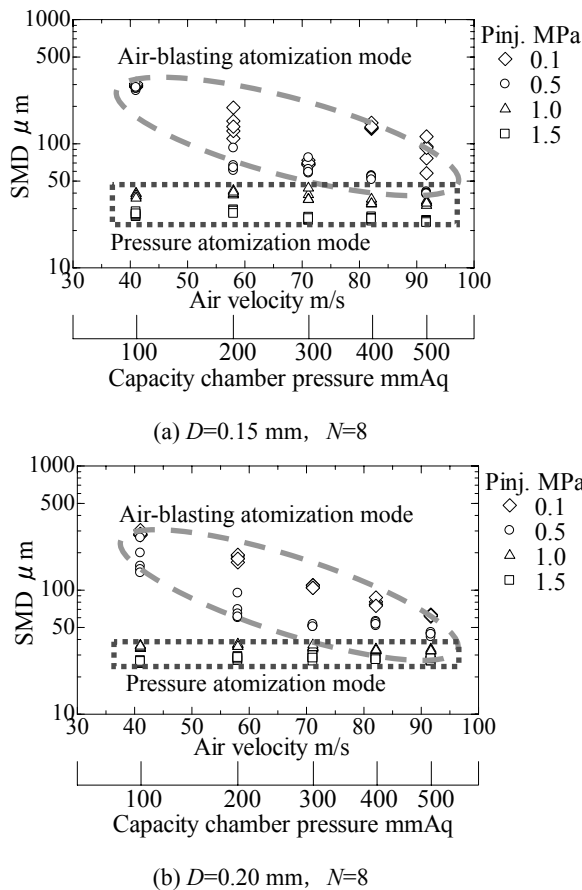


Fig.4 SMD variation with air velocity and liquid injection pressure  $P_{inj}$ .

Fig.5に当量比  $\phi$  と液体噴射圧力  $P_{inj}$  の関係を示す。当量比  $\phi$  と液体噴射圧力  $P_{inj}$  は燃焼実験時に計測した値を使用した。 $D=0.15\text{mm}$ の場合,  $P_{inj}=0.09\sim 0.31\text{MPa}$ である。 $D=0.20\text{mm}$ の場合,  $P_{inj}=0.03\sim 0.09\text{MPa}$ である。Fig.4, 5を考慮すると, 燃焼実験は気流微粒化モード条件下であることがわかる。これは液体噴射圧力  $P_{inj}$  が気流微粒化モードから圧力微粒化モードへ遷移する  $1.0\text{MPa}$  以下であったためである。

Fig.6に当量比  $\phi$  と燃焼実験時の燃料噴霧の SMD の関係を示す。SMD は燃焼実験時の灯油の体積流量と等しい体積流量

で蒸留水を噴射したときの粒径計測結果である。 $D=0.15\text{mm}$ の場合, 燃焼実験範囲の SMD は  $63\sim 97\mu\text{m}$  である。一方, ノズル直径  $D=0.20\text{mm}$  の場合, SMD は  $115\sim 137\mu\text{m}$  である。SMD は  $D=0.15\text{mm}$  のほうが,  $D=0.20\text{mm}$  よりも小さい。これは空気流量・燃料流量が一定 (当量比  $\phi$  が一定) の条件で, ノズル総断面積の減少にともない液体噴射圧力  $P_{inj}$  および液体噴流速度が増大するためである。これよりノズル直径  $D$  の変化に伴う SMD の違いが燃焼特性に及ぼす影響を明らかにする

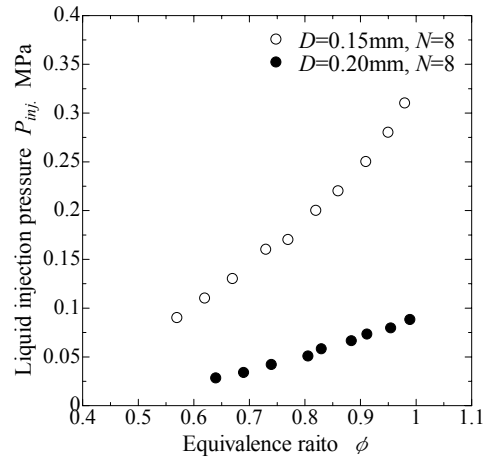


Fig.5 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and Liquid injection pressure  $P_{inj}$

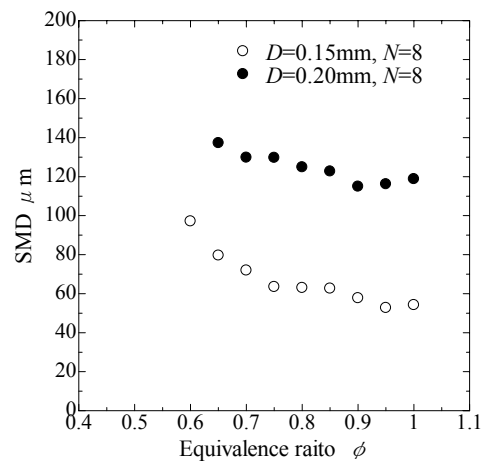


Fig.6 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and SMD

##### 3.1.2 燃焼特性

Fig.7に当量比  $\phi$  と  $\text{NO}_x$  排出指数  $EI(\text{NO}_x)$  および燃焼効率 C.E. の関係を示す。 $\phi < 0.80$  では,  $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも  $EI(\text{NO}_x)$  が増大する。また, Fig.8, 9より,  $EI(\text{CO})$  は両噴射弁でほぼ等しいが,  $EI(\text{THC})$  が  $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも増大していることがわかる。これらは,  $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも希薄吹き消え限界が拡大することから,  $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも燃焼がより成層化しているためであると考えられる。つまり,  $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも噴霧分散性が低いためであると考えられる。ここで, 両噴射弁の噴霧分散性の違いは液柱の衝突場所の違いによるものと考えられる。Fig.10に液柱衝突位置の模式図を示す。 $D=0.15\text{mm}$  の場合, 燃焼実験時の液体噴射圧力範囲は Fig.5より  $P_{inj}=0.09\sim 0.31\text{MPa}$  である。この領域では液柱が衝突壁面に衝突することを確認している。一方,  $D=0.20\text{mm}$  の場合, 燃焼実験時の液体噴射圧力範囲は Fig.5より  $P_{inj}=0.03\sim 0.06\text{MPa}$  で

ある。この領域では液柱が衝突壁面に衝突せず、液柱はスワローを通過した気流により偏向し、中間リング上に衝突することを確認している。これより、中間リング上に液膜が生成する。中間リング上の液膜はエアブラスト式燃料噴射弁のように微粒化されると考えられる。このため、液柱が衝突壁面に衝突する  $D=0.15\text{mm}$  と比較して、 $D=0.20\text{mm}$  でより噴霧の分散性が向上し、 $EI(\text{NO}_x)$ が減少したと考えられる。一方で、Fig.6 より SMD は  $D=0.15\text{mm}$  のほうが  $D=0.20\text{mm}$  よりも小さいことがわかっている。

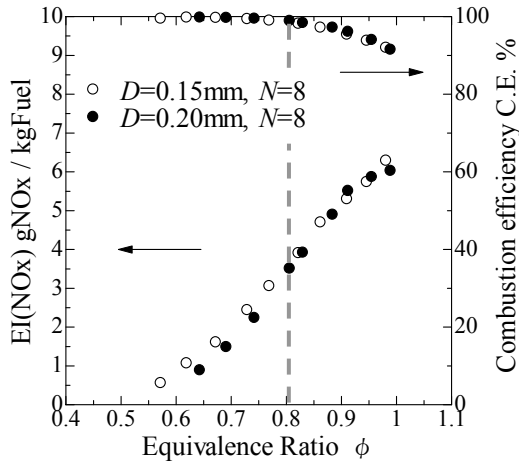


Fig.7 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and  $EI(\text{NO}_x)$  and combustion efficiency C.E.

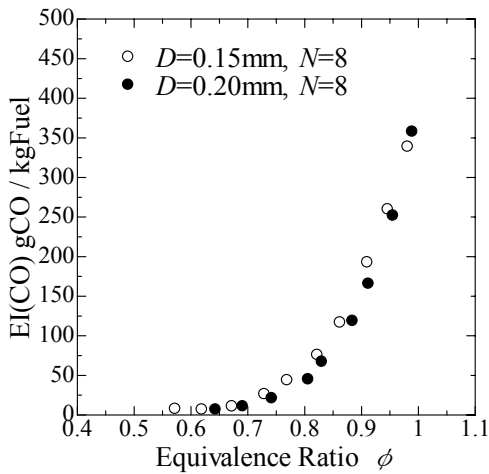


Fig.8 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and  $EI(\text{CO})$

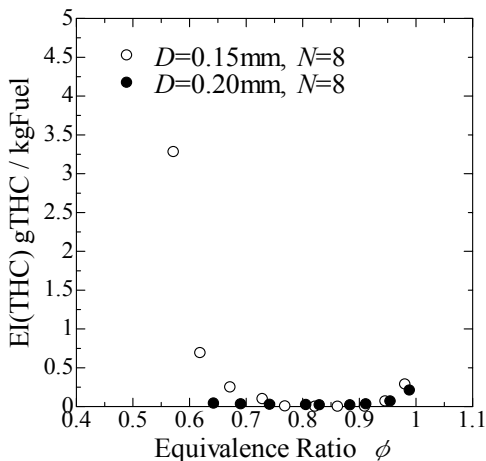


Fig.9 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and  $EI(\text{THC})$

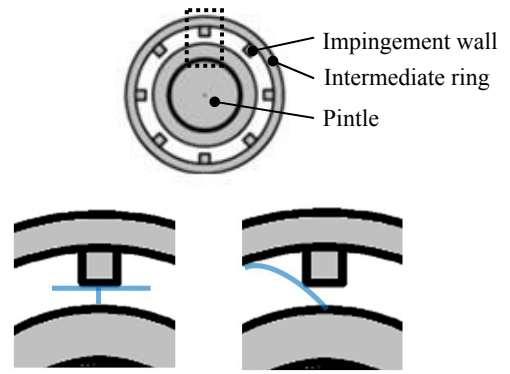


Fig.10 Schematic of impingement position

つまり、 $D=0.15\text{mm}$  で  $D=0.20\text{mm}$  よりも SMD が小さいにも関わらず、噴霧分散性が低いため  $EI(\text{NO}_x)$ が増大したことがわかる。以上より、 $EI(\text{NO}_x)$ の低減に及ぼす影響は、噴霧分散性向上のほうが、SMD の減少よりも大きいと考えられる。

$\phi > 0.80$  では、 $EI(\text{NO}_x)$ はノズル直径  $D$  によらずほぼ同じである。Cooper<sup>(8)</sup>によると、「(オーバーオール)燃空比が一定で、全体的に希薄混合気の場合では、噴霧の不均一率が增大するにつれて  $\text{NO}_x$  排出量が増加する。燃料と空気が不均一混合であれば火炎内により燃料の濃い領域、つまり、より高温の領域を形成するためである。一方、量論比混合気付近の場合、混合気により不均一であれば  $\text{NO}_x$  排出量が低くなる。」という結論が得られている。これより、量論混合気付近の  $\phi > 0.80$  で、噴霧分散が低く、混合気により不均一である  $D=0.15\text{mm}$  で  $EI(\text{NO}_x)$ が低くなり、 $D=0.20\text{mm}$  における  $EI(\text{NO}_x)$ とほぼ等しくなったと考えられる。このため、 $D=0.15\text{mm}$  と  $D=0.20\text{mm}$  で  $EI(\text{NO}_x)$ がほぼ等しくなったと考えられる。一方で、Fig.6 より SMD は  $D=0.15\text{mm}$  のほうが  $D=0.20\text{mm}$  よりも小さいことがわかっている。以上のことから、 $\text{NO}_x$  排出量に及ぼす影響は、噴霧分散性のほうが、SMD よりも大きいと考えられる。

### 3.2 ノズル数 $N$ が微粒化特性と燃焼特性に及ぼす影響

#### 3.2.1 微粒化特性

はじめに、微粒化モードについて検討する。Fig.11(b), (c) に空気流速および液体噴射圧力  $P_{inj}$  が SMD に及ぼす影響を示す。両噴射弁で  $P_{inj} \leq 0.5\text{MPa}$  で気流微粒化モードであることがわかる。両噴射弁で  $P_{inj} \geq 1.0\text{MPa}$  で圧力微粒化モードであることがわかる。Fig.12 に当量比  $\phi$  と液体噴射圧力  $P_{inj}$  の関係を示す。 $N=8$  の場合、 $P_{inj}=0.03\sim 0.06\text{MPa}$  である。 $N=6$  の場合、 $P_{inj}=0.04\sim 0.08\text{MPa}$  である。Fig.11, 13 を考慮すると、燃焼実験は気流微粒化モード条件下で行われたことがわかる。

Fig.13 に燃焼実験時の燃料噴霧の SMD を示す。 $N=8$  の場合、燃焼実験範囲の SMD は  $115\sim 137\mu\text{m}$  である。一方、 $N=6$  の場合、SMD は  $117\sim 132\mu\text{m}$  である。 $N=6$  で  $N=8$  よりもノズル総断面積が減少するにもかかわらず、SMD がほぼ等しい。これは燃焼実験時の液体噴射圧力  $P_{inj}$  が小さいため、ノズル総断面積が減少しても  $P_{inj}$  が著しく増大しないためである。これより、燃焼実験ではノズル数  $N$  の変化に伴う噴霧分散性の違いが燃焼特性に及ぼす影響について検討する。

#### 3.2.2 燃焼特性

Fig.14 に当量比  $\phi$  と  $EI(\text{NO}_x)$  および燃焼効率 C.E. の関係を示す。 $\phi < 0.65$  では、 $N=6$  で  $N=8$  よりも  $EI(\text{NO}_x)$  がわずかに増大する傾向があることがわかる。 $N=6$  で  $N=8$  よりも希薄吹き消え限界が拡大することから、 $N=6$  で  $N=8$  よりも噴霧分散性が低く、燃焼がより成層化していると考えられる。両噴射弁ともに、液柱が中間リングに衝突することを確認している。これより、ノズル数の違いによって、噴霧分散性が異なると



考えられる。噴霧分散性は  $N=6$  で  $N=8$  よりも低いと考えられる。ここで、Fig.15 に火炎画像を示す。  $\phi=0.65$  で、  $N=6$  のほうが  $N=8$  よりも輝炎が大きいことがわかる。これは噴霧分散性が  $N=6$  で  $N=8$  よりも小さいことを示すと考えられる。このため、  $EI(NO_x)$  が  $N=6$  で  $N=8$  よりもわずかに増大したと考えられる。また、当量比  $\phi < 0.65$  では、両噴射弁ともに燃焼効率 C.E. が 99% 以上である。燃焼効率が高い条件下では、ノズル数  $N$  の増大により噴霧分散性が向上し、  $EI(NO_x)$  が減少すると考えられる。

$\phi > 0.65$  では、  $N=6$  で  $N=8$  よりも  $EI(NO_x)$  が大きく減少する。これは前述の Cooper<sup>(8)</sup> の結論と一致している。 Fig.16, 17 より、  $\phi > 0.85$  の場合、  $EI(CO)$  および  $EI(THC)$  が  $N=6$  で  $N=8$  よ

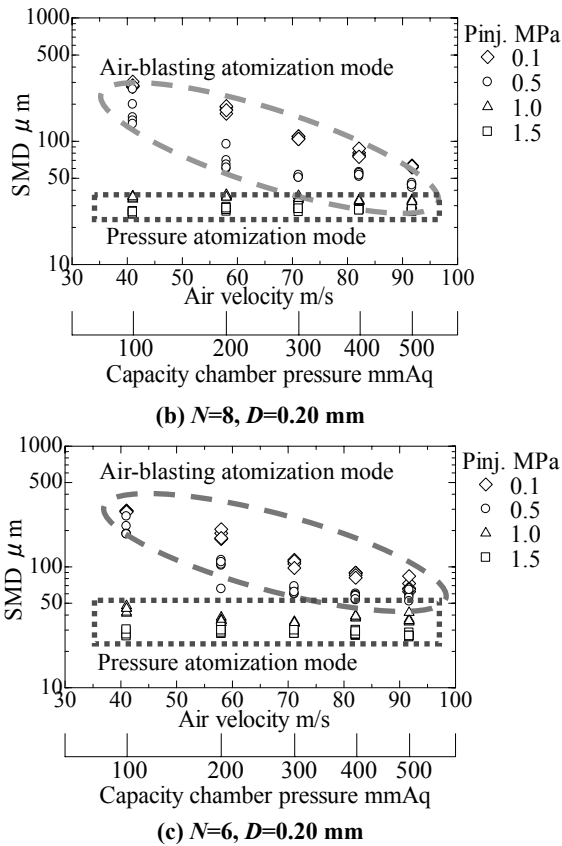


Fig. 11 SMD variation with air velocity and liquid injection pressure  $P_{inj}$ .

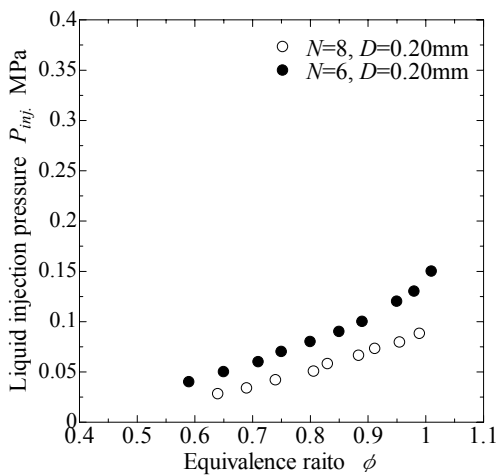


Fig. 12 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and Liquid injection pressure  $P_{inj}$ .

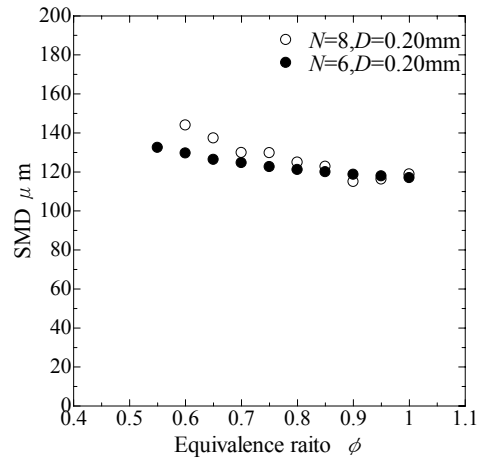


Fig. 13 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and SMD

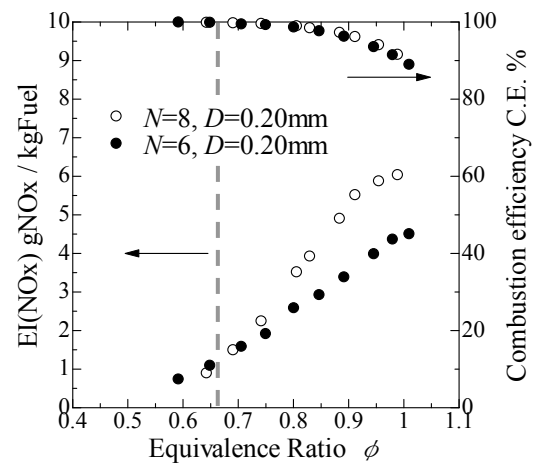


Fig. 14 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and  $EI(NO_x)$  and combustion efficiency C.E.

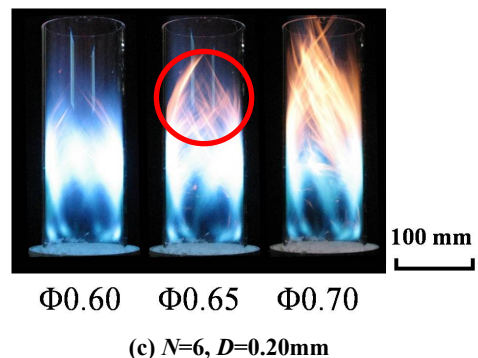
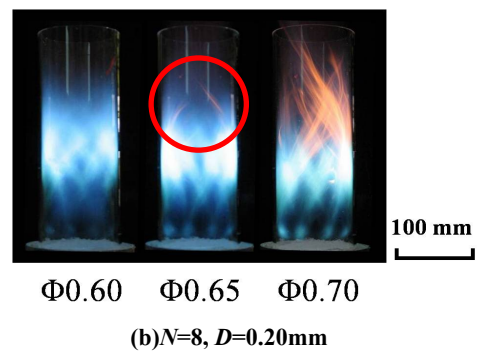


Fig. 15 Images of frame

りも増大する。これは $N=6$ で $N=8$ よりも不均一であり、火炎内により燃料の濃い領域 ( $\phi > 1$ ) が存在しているためであると考えられる。このため、量論比混合気に近づくほど混合気がより不均一である $N=6$ で $N=8$ よりもEI(NOx)が大きく減少したと考えられる。

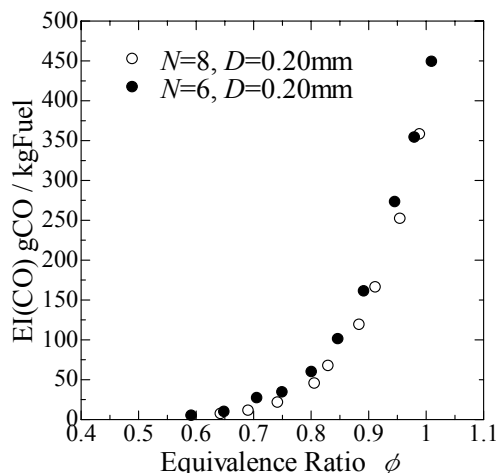


Fig.16 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and EI(CO)

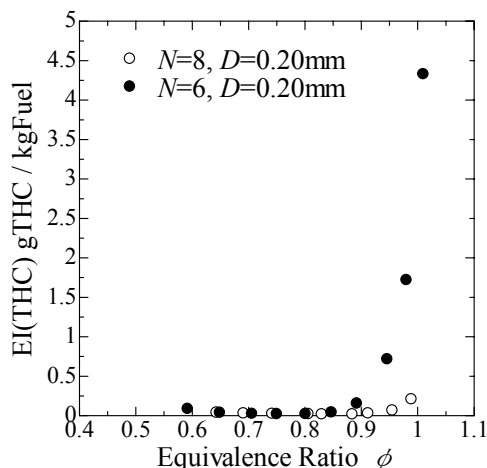


Fig.17 Relationship between equivalence ratio  $\phi$  and EI(THC)

#### 4. まとめ

壁面衝突型ジェットエンジン用燃料噴射弁の微粒化が燃焼特性に及ぼす影響を大気圧条件下で実験的に検討した。その結果以下の知見を得た。

- (1) 燃焼実験範囲では、液体噴射圧力が気流微粒化モードから圧力微粒化モードへ遷移する 1.0MPa に達していないため、微粒化モードが気流微粒化モードであった。
- (2) ノズル直径の大きいほうが、SMD は大きい、EI(NOx) は小さい。これは希薄条件においては、ノズル直径の大きいほうが、壁面衝突による SMD 減少よりも気流微粒化による噴霧分散性向上による NOx 低減効果が大きいためであると考えられる。
- (3) ノズル数の少ないほうが、EI(NOx)は小さくなる。これは少ないノズル数のほうが、(2)とは逆に噴霧分散性低下により、混合気の不均一率が増大したためであると考えられる。

#### 謝辞

本研究を行うにあたり、(独)宇宙航空研究開発機構より実験・計測装置に関する多大なるご支援を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表します。

#### 文献

- (1) Lefebvre, A.H., Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing, (1989), 244-252.
- (2) Araki, M. et al., Atomization of a High Speed Liquid Jet by Wall Impingement, Transactions of JSME, 71-703, B(2005), 978-985.
- (3) Yamada, H. et al., Effect of Pressure Atomization with Wall Impingement on the Atomization Characteristics in a Jet Engine Burner, Transactions of JSME, 70-700, B(2004), 3257-3263.
- (4) Araki, M. et al., Wall Geometry Effects on Atomization Characteristics of an Impingement-Jet Type Jet Engine Fuel Injector, Transactions of JSME, 71-710, B(2005), 2568-2574.
- (5) Takahiro TAMURA et al., Atomization Improvement in a Jet Engine Fuel Injector Using a Wall Impingement Liquid Jet, 10th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems ICLASS-2006, Paper ID ICLASS06-159
- (6) Takahiro TAMURA et al., Droplet Size and Spray Dispersion Characteristics of an Impingement-Jet Type Jet Engine Fuel Injector, Transactions of JSME, 74-746, B(2008), 2213-2220.
- (7) 松浦 一哲, 航空エンジン用気流微粒化式燃料噴射弁の噴霧特性～設計パラメータ・作動条件の影響～, 微粒化, Vol.18, No.61, (2009), 12-24.
- (8) A.H.Lefebvre 著, 佐藤幸徳 訳, ガスタービンの燃焼工学, 日刊工業新聞社, (1994), 592.



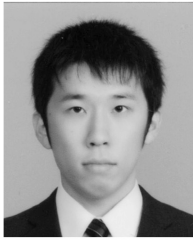
茂木 宣昭  
株式会社小松製作所  
生産本部  
小山工場エンジン生産部  
〒323-8558  
栃木県小山市横倉新田 400  
TEL 0285-28-8111

略歴：2010年群馬大学大学院工学研究科機械システム工学専攻博士前期課程修了。2010年株式会社小松製作所に入社、現在に至る。



山田 秀志  
(独)宇宙航空研究開発機構  
航空プログラムグループ  
エミッション低減セクション  
主幹研究員  
〒182-8522  
東京都調布市深大寺 7-44-1  
TEL 0422-40-3412  
FAX 0422-40-3440

略歴：1971年科学技術庁航空宇宙研究所入所。1977年東京理科大学理学部化学科卒業。現在(独)宇宙航空研究開発機構に勤務。主としてジェットエンジン、ガスタービンからのNOx排出低減に関する技術の開発に従事、現在に至る。



山村 聡史  
群馬大学  
大学院工学研究科  
機械システム工学専攻  
〒376-8515  
群馬県桐生市天神町 1-5-1  
TEL 0277-30-1516  
FAX 0277-30-1516

略歴：2009年群馬大学工学部機械システム工学科卒業。2009年群馬大学大学院工学研究科機械システム工学専攻博士前期課程入学，現在に至る。



荒木 幹也  
群馬大学  
大学院工学研究科  
機械システム工学専攻  
〒376-8515  
群馬県桐生市天神町 1-5-1  
TEL 0277-30-1515  
FAX 0277-30-1516

略歴：2002年東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。博士（工学）。2002年群馬大学に着任，現在に至る。



中村 壽雄  
群馬大学  
大学院工学研究科  
機械システム工学専攻  
〒376-8515  
群馬県桐生市天神町 1-5-1  
TEL 0277-30-1516  
FAX 0277-30-1516

略歴：1966年-2010年群馬大学に勤務。



志賀 聖一  
群馬大学  
大学院工学研究科  
機械システム工学専攻  
〒376-8515  
群馬県桐生市天神町 1-5-1  
TEL 0277-30-1514  
FAX 0277-30-1516

略歴：1982年東京大学大学院工学系研究科航空学専門課程博士課程修了。工学博士。1982年群馬大学に着任，現在に至る。