

ガスタービン燃焼器における混合気形成

(第1報, エアアシスト式噴射弁から常温気流中に噴射された燃料噴霧の挙動)

Mixture Formation in a Combustor for a Gas Turbine

(1st Report : Behavior of the Spray Injected from an Air-Assist Nozzle into Cold Air Flow)

吉田 祐作, 親川 兼俊, 柄沢 隆夫
(Yusaku YOSHIDA) (Kenshun OYAKAWA) (Takao KARASAWA)
日本自動車研究所 日本自動車研究所 群馬大学
(JARI) (JARI) (Gunma Univ.)

An automotive ceramic gas turbine was developed to achieve high thermal efficiency and clean exhaust emission. A pre-vaporizing, pre-mixing lean combustor installed in the gas turbine was developed, and a catalytic combustor for the gas turbine is under development. In those combustors, air-assist nozzles are used to obtain the required wide range of turn down ratio of fuel. It is still necessary to investigate the optimized mixture formation of the fuel and the air in the vaporizing tube of the catalytic combustor is remained. For the 1st report, this paper presents the behavior of the spray injected into a cold air flow in a model vaporizing tube using the air-assist nozzle to understand the fundamental characteristics of the spray.

Keywords: Air-assist nozzle, Spray, Sauter mean diameter, Vaporizing tube, Combustor

1. まえがき

高効率低公害エンジンとして自動車用セラミックガスタービンの開発が行われ、これに適用する燃焼器として予蒸発予混合燃焼器⁽¹⁾や触媒燃焼器の開発⁽²⁾が行われている。これらの燃焼器にはターンダウン比が大きく、微細噴霧が供給できるエアアシスト式噴射弁が採用されている。燃焼器において、蒸発管内に限られたスペースで燃料噴霧を完全に蒸発させ、蒸発ガスと燃焼空気の急速混合を図るためには噴霧粒径を極力小さくする必要がある。一方、低 NO_x を実現するには、均一性の高い混合気を得る必要があり、噴霧を適度に分散させる必要がある。そのため、貫通力のある程度有する細かな粒子の噴霧形成が必要である。これらは相反するため同時に実現するのは難しく設計条件に適した噴霧形成が要求される。

また、自動車用ガスタービンは熱効率向上のため熱交換器により燃焼空気を加熱する再生式を採用しており、燃焼空気は 700℃～900℃程度まで加熱される。

そのため、常温から高温までの広い燃焼空気条件における噴霧形成の最適化が重要である。従来の研究では、高温条件下で蒸発過程を調べたもの⁽³⁾はあるが、実機燃焼器を対象に、常温から高温まで噴霧の挙動と蒸発混合過程を系統的に調べたものは見当たらない。

そこで、本研究は 50～100kW クラスのガスタービン用触媒燃焼器を対象に、常温における噴霧挙動から高温加圧条件における完全蒸発・急速混合過程にいたるまで、最適な噴霧形成に必要な燃焼器設計資料を得ることを目的として実施した。

本報では、燃焼器の蒸発管部分をモデル化した実験用蒸発管を試作し、常温空気を用いて蒸発管内の空気の流動状態や燃料を供試噴射弁から蒸発管内の気流中に噴射した場合の噴霧の基本的な挙動について示す。

2. 実験装置および方法

2.1 供試噴射弁

供試噴射弁は渦巻式噴射弁構造を基本に微粒化用

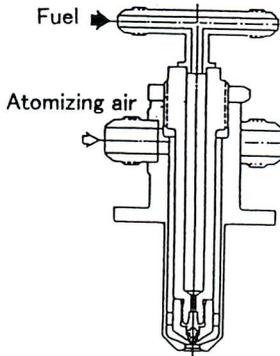


Fig.1 Configuration of the air-assist nozzle

Table 1 Specifications of the air-assist nozzle

Flow rate of fuel	0.3~4g/s
Spray angle	60°
Fuel pressure	0.2~6MPa
Flow rate of atomizing air	1~3g/s
Fuel	Kerosene

空気を供給する外部混合タイプのエアアシスト式噴射弁である。この形式は広いターンダウン比が取れるとともに空気冷却構造で高温での使用に適していること、微粒化用空気流量の調整で噴霧の粒径や分散などの噴霧特性を比較的容易に制御できることにより採用した。概略構造を図1に示し、仕様を表1に示す。燃料噴孔径はφ0.38、噴射弁出口径はφ6である。微粒化用空気の旋回方向は、上流からみて時計方向である。表中の最大燃料流量は燃焼器圧力が0.5MPaを設計条件とした場合の値であり、対応する常圧での燃料流量は最大0.8g/s程度である。噴霧角は90°と60°のものを試作したが、微粒化用空気流量を減少させた場合、安定した噴霧が得られる60°のものを採用した。

2.2 実験装置

実験装置はガスタービン燃焼器を想定し、蒸発管内の噴霧の挙動が常温から高温まで測定でき、エアアシスト式噴射弁の基本的な特性および噴霧と気流との蒸発混合過程を高温加圧下の幅広い条件において調べられる構造とした。

蒸発管内の噴霧と気流の状態および計測系統の概略を図2に示す。逆流缶型燃焼器の場合は、半径流スワローを用いて燃焼空気の流れを制御することが多

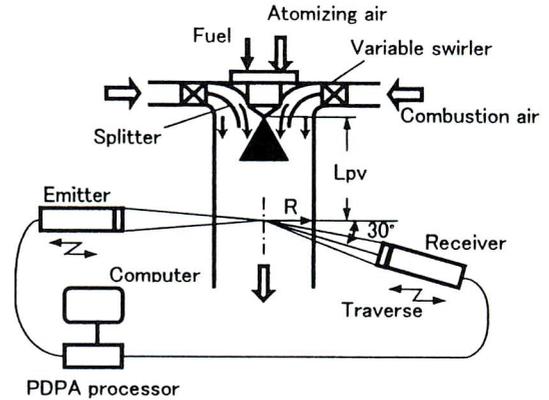


Fig.2 Schematic diagram of the experimental apparatus

く、本実験でも同形式を採用した。スワローは、任意の旋回羽根角度に調整できるものとし可変構造とした。スプリッタは、蒸発管に流入する燃焼空気が蒸発管入口の管壁部で逆流域を生成し圧力損失を増大させるのを防止するためと、スプリット比を変えることによりスプリット出口で燃焼空気の速度を設定し、任意の速度分布を得るために採用した。ここで、スプリット比(SPR)は(スプリット出口径/蒸発管内径)²で定義する。スワローを通過した燃焼空気はスプリット入口で2分割され、スプリット比に対応する速度で蒸発管に流入する。スプリット比は0.25で一定とした。噴射弁から下方に向けて噴射された噴霧はこの気流の影響をうけ蒸発管内に分散する。噴霧の挙動を調べるため、噴霧の平均粒径や速度の測定に位相ドップラー式粒径測定器(PDPA)を用いた。レーザの設置角は30°で前方散乱式を採用した。計測位置は図中に示すように噴射弁出口からの距離をLpvとし、水平断面の半径方向をRとした。

実験用蒸発管を取り付けた実験装置の構造を図3に示す。蒸発管は直径70mmの石英円筒ガラスを用い、PDPAのレーザ光を透過させる部分にはスリット状の切り欠きを設けた。蒸発管の側面部分には、レーザ光透過のための石英ガラス窓を取り付けた。図中のサンプリングプローブは今回の実験には用いていない。

2.3 実験方法

実験は、まず供試噴射弁の代表的な噴霧状態を把握するため、大気開放時の水噴霧の状態を微粒化用空気流量を変えて直接写真により観察した。光源は3Hzのストロボ光を用いた。また、噴霧の分散状況を把握

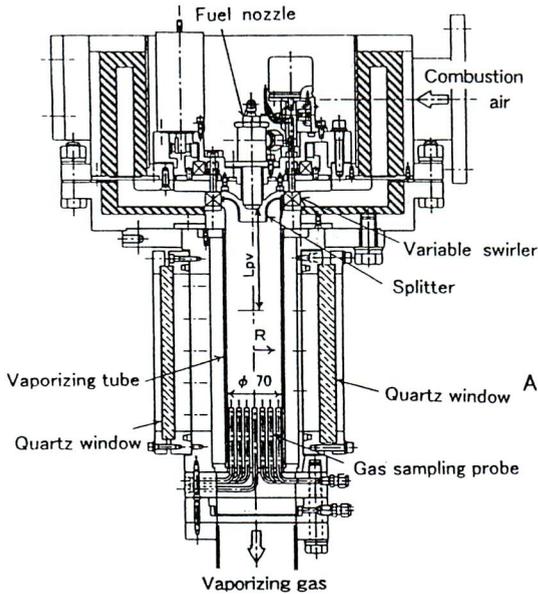


Fig.3 Configuration of the vaporizing tube

するため、大気開放時の水噴霧の噴霧量分布をメスシリンダで計測した。

蒸発管内における空気の流動状態を調べるため、外径 2mm の円筒管の周上に直径 0.4mm の単孔をあけた円筒形ピトー管⁽⁴⁾を検定して用い、図 4 に示す方法で流速 (V_a) 分布と旋回角 (α_a) 分布を測定した。

蒸発管内における噴霧の測定は、灯油を用いて行い、微粒化用空気流量 (G_{aa})、燃焼空気流量 (G_a)、燃料流量 (G_f) やスワラの旋回角 (α) がザウター平均粒径 (d_{32}) 分布、噴霧粒子速度 (V_d) 分布などの噴霧特性や噴霧挙動に及ぼす影響について PDPA を用いて測定した。PDPA の光源には He-Ne レーザーを用い、受光センサの印加電圧は 350V、灯油の屈折率は 1.44 とした。測定データとしてはバリデーション (Validation) がおおよそ 50% 以上のものを採用した。噴霧の計測は、図 2 に示す L_{pv} 位置において測定点を半径方向に 5mm 間隔でトラバースして行った。主な実験条件を表 2 に示す。スワラの旋回角は 10° で一定とし、実験は常温常圧のもとで行った。

3. 実験結果および考察

3.1 大気中に噴射した噴霧

供試噴射弁より、流速 3.5m/s で下方に吸引された

Table2 Experimental conditions

Combustion air temperature	20 ~ 25°C
Combustion air flow rate	20 ~ 60g/s
Fuel flow rate	0.4 ~ 0.8g/s
Atomizing air flow rate	1 ~ 3g/s
Swirler vane angle	10°
Pressure in the vaporizing tube	0.1MPa

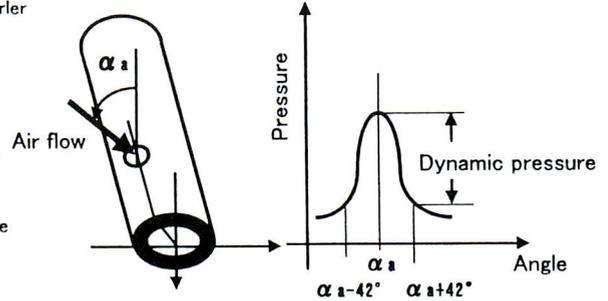


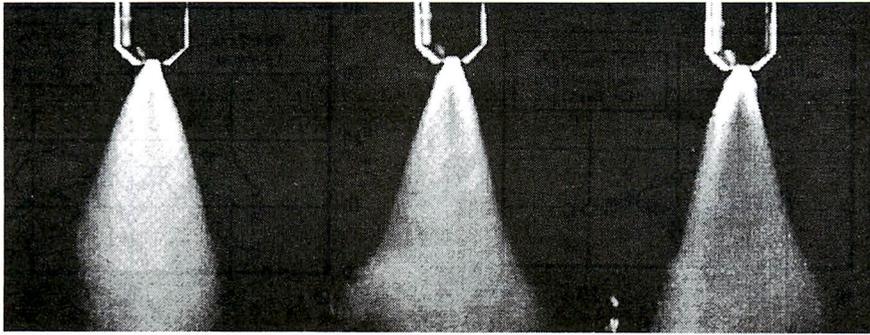
Fig.4 Flow measurement with a cylindrical pitot-tube

大気中に噴射した水噴霧の直接写真を図 5 に示す。微粒化用空気流量を変化させた場合、噴霧状態は大きく異なる。 $G_{aa}=3g/s$ では中央部に噴霧が集まり、貫通力の小さい噴霧が形成される。 $G_{aa}=2g/s$ では比較的広い範囲に分散した噴霧が形成される。 $G_{aa}=1g/s$ ではホローコーン状の噴霧が形成され、やや大きな滴も観察された。

噴射弁から 90mm 下流位置において、外径 8mm、内径 6mm のサンプリング管で捕集した水噴霧の噴霧量流束 (q_1) の分布を図 6 に示す。水流量は $6 \times 10^{-5} m^3/min$ 、捕集時間は 60min であり、噴霧の捕集率は 80% である。 $G_{aa}=3g/s$ では $R=-40mm \sim 30mm$ の範囲で大部分の噴霧が存在し、 $G_{aa}=2g/s$ ではほぼ一様に噴霧が分散し、 $G_{aa}=1g/s$ では $R=20mm$ と $R=-30mm$ 位置にピークを持つ噴霧の分散を示す。

3.2 蒸発管内の空気の流動状態

燃料が噴射される蒸発管内の空気の流動状態を把握するため、図 4 に示す円筒形ピトー管で空気の軸方向の流速分布と旋回角分布を測定した。燃焼空気と微粒化用空気をそれぞれ別々に供給した場合の $L_{pv}=40mm$ 位置における流速分布を図 7 に示す。 $G_a=40g/s$ の燃焼空気のみの場合、 $R=\pm 15mm$ 位置にピークを有する流速分布を示す。スプリッタ出口径は $R=\pm 16.5mm$ であるので、最大流速はスプリッタ出口



Gaa=3g/s

Gaa=2g/s

Gaa=1g/s

Fig.5 Photographs of spray

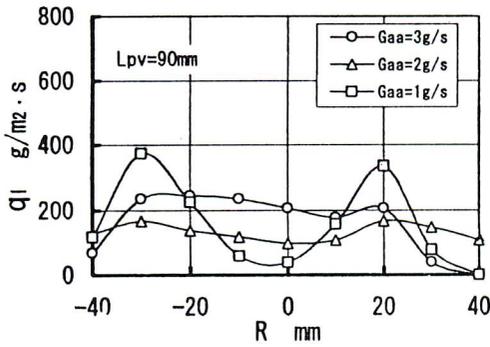


Fig.6 Distribution of spraying volume

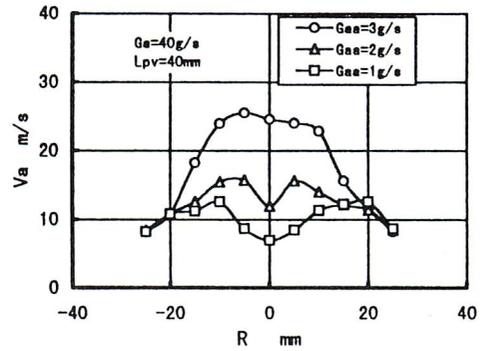


Fig.8 Distribution of axial flow velocity of combustion air with various atomizing air flow rates at Lpv=40mm

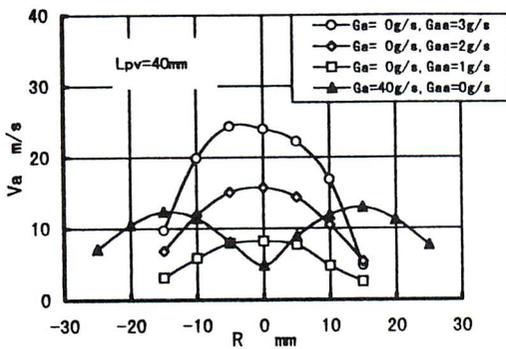


Fig.7 Distribution of axial flow velocity of combustion air or atomizing air alone at Lpv=40mm

(Lpv=15mm) 壁近傍で形成され、スプリッタ出口において外側の流れを随伴しつつ後流に移行し、Lpv=40mmにおいても $R=\pm 15\text{mm}$ で流速のピークを保持している。すなわち、スワローによって旋回を付与された流れは半径方向速度成分によりスプリッタ内壁に押しつけられるように進行し、その結果、スプリッタ出口壁部で最大流速を示す。また、微粒化用空気のみを供給した場合は中央部が最大流速を示す分布となり、流速の増加とともにその最大流速は比例的に増加する。

燃焼空気とともに微粒化用空気を供給した場合の流速分布を図8に示す。図7における燃焼空気のみ

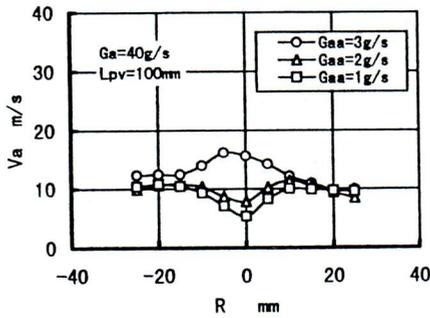


Fig.9 Distribution of axial flow velocity of combustion air with various atomizing air flow rates at Lpv=100mm

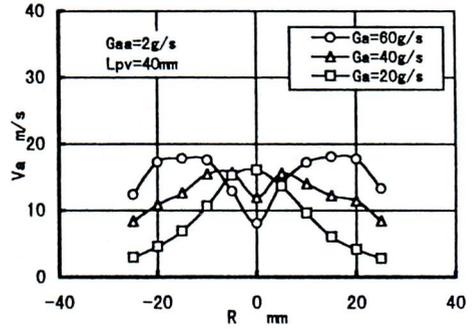


Fig.11 Distribution of axial flow velocity in varying combustion air flow rates with Gaa=2g/s

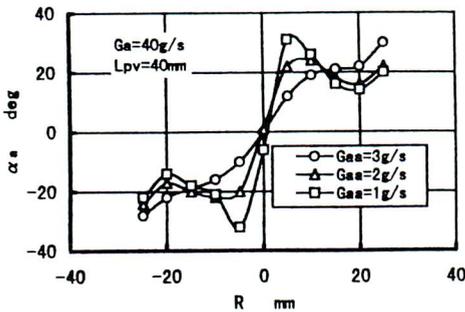


Fig.10 Distribution of swirling flow angle of combustion air with atomization air

流速に各微粒化用空気流量に対応する流速を加えたものが図8に示す流速とほぼ等しい。しかし、中央部では微粒化用空気が燃焼空気に随伴される結果、両者を加えたものより低くなった。Gaa=1,2g/sでは、スプリッタからの噴流は環状の最大流速をとまう分布を示している。Gaa=3g/sでは微粒化用空気の流速が支配的となり、スプリッタ内側からの噴流がそのまま保持された流れ状態を示している。同様に、Lpv=100mmにおける流速分布を図9に示す。図8における流速分布の傾向はLpv=100mmの後流位置でも保持されている。流速はエネルギーの拡散により減衰し平滑化していることがわかる。

Lpv=40mmにおける空気の旋回角を図10に示す。上流から見て反時計方向の旋回を有している。Gaa=1g/sの場合は燃焼空気の旋回の影響が大きく、R=±5mmの中央部まで旋回角が大きい。一方、Gaaが増加するにつれ、微粒化用空気の旋回が時計方向のため、これにより旋回が弱められ微粒化用空気の流速が増大する中

央部ほど α は小さくなる。

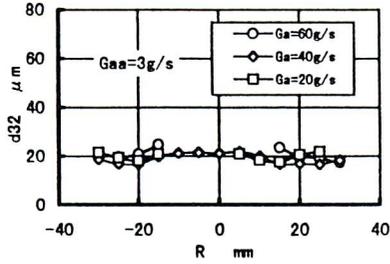
微粒化用空気流量を2g/sで一定とし、燃焼空気流量を変化させた場合の流速分布を図11に示す。半径がR=±5mmより大きい場合、Gaの増加とともに流速もほぼ比例的に増加しており、スプリッタ出口径より大きい部分では燃焼空気の流速が支配的である。一方、スプリッタ出口径より小さい部分では微粒化用空気の影響が示され、Ga=20g/sでは微粒化用空気が支配的である。しかし、Gaの増加とともに燃焼空気の流速が増加し、微粒化用空気を随伴するようになると中央部の流速はGaの増加とともに減少し、環状の最大流速を示す流れとなった。

3.3 蒸発管内における噴霧の挙動

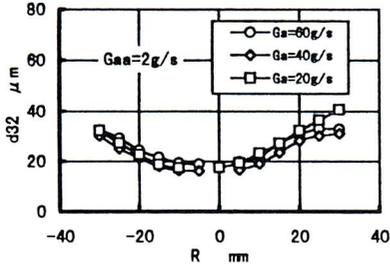
3.3.1 平均粒径分布

燃料流量を0.8g/sで一定とし、空気流量を20~60g/sまで変化させ平均粒径を調べた。Lpv=90mmにおけるGaa=1,2,3g/sのザウター平均粒径の半径方向分布を図12に示す。空気流量を変えても、各Gaaにおいて d_{32} はあまり変化しないが、微粒化用空気流量を変えた場合には大きく変化している。Gaa=3g/sでは、20 μ m程度の微小噴霧が形成されるが、Gaaを2g/s,1g/sと減少させるにつれ平均粒径の大きい噴霧が形成されるようになり、噴霧の貫通力が高まり外周部での d_{32} が増大している。微粒化には、燃焼空気の流速の影響は小さく微粒化用空気流が支配的であるといえる。

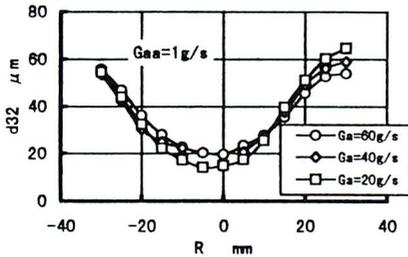
図12のGa=40g/s, Gaa=1~3g/s, Lpv=90mmのデータ、および同様に測定したLpv=140mmのデータについて、各条件ごとに、各半径位置で測定した噴霧を合計し全噴霧の粒径と粒数をもとに求めたザウター平均粒径



(a) Gaa=3g/s



(b) Gaa=2g/s



(c) Gaa=1g/s

Fig.12 Distribution of axial velocity of droplets for Gaa=1 to 3g/s with parameter of air flow rate

$$d_{32} = 0.585 \frac{\sqrt{\sigma}}{V_r \sqrt{\rho l}} + 53 \left(\frac{\mu l}{\sqrt{\sigma \rho l}} \right)^{0.45} \left(\frac{Ql}{Qa} \right)^{1.5} \times 10^6 \quad \text{----- (1)}$$

- d₃₂ : ザウター平均粒径, μm
- V_r : 空気と燃料の相対速度, m/s
- σ : 表面張力, N/m
- ρl : 液体の密度, kg/m³
- μl : 液体の粘性係数, Pa·s
- Ql : 液体の流量, m³/s
- Q_a : 空気の流量, m³/s

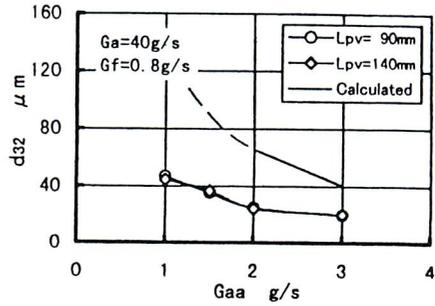


Fig.13 Comparison of measured Sauter mean diameter and calculated value

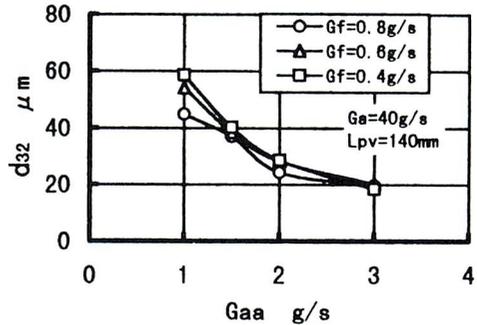


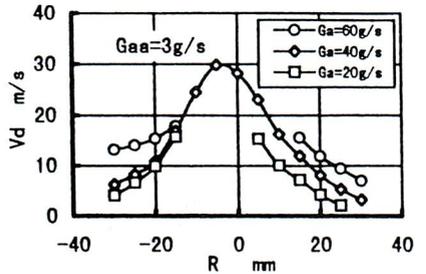
Fig.14 Sauter mean diameter obtained by varying fuel flow rate

を微粒化用空気流量で整理したものが図13である。図中の計算値は抜山-棚沢⁽⁵⁾の式(1)で求めた。Lpv=90,140mmのいずれのd₃₂もほぼ一致しており、90mm位置で微粒化はすでに完了し、噴霧は気流ののって140mm位置まで到達していると思われる。実験値は噴射弁の平均粒径を代表していると考えますが計算値よりかなり低い値である。凍結法との比較でもPDPAのd₃₂は1/2~2/3程度⁽⁶⁾であり、液浸法では流速の遅い小さな粒子の捕捉割合が少なくなり、PDPAでは微小粒径まで計測されることから考えると図13の結果は妥当であると思われる。図中の計算値の破線は気流と液流の相対速度が約80m/s以下の場合であり参考値として示す。今後、計測法の相違も含めて従来との関係式との相関について、今後さらに検討する必要がある。

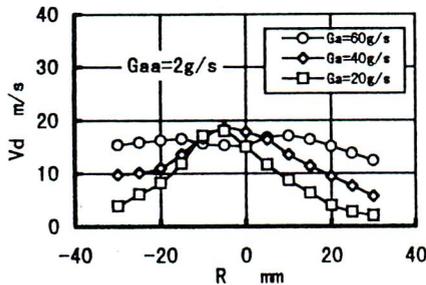
燃料流量を変えた場合のLpv=140mmにおける全噴霧の粒径をもとに求めたザウター平均粒径を図14に示す。燃料流量を変えても顕著な差異はみられなかった。

3.3.2 噴霧速度分布

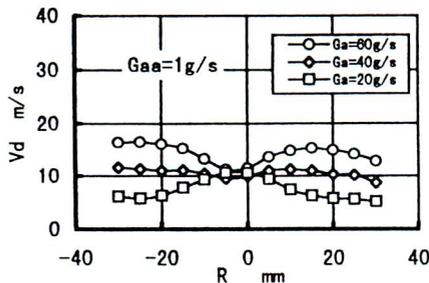
噴霧粒子の $L_{pv}=90\text{mm}$ における軸方向平均速度分布を図 15 に示す。まず、中央部の粒子速度について考える。 $G_{aa}=3\text{g/s}$, $G_a=40\text{g/s}$ の場合、粒子の最大平均速度は 30m/s 程度で、図 9 で示すように、 $L_{pv}=100\text{mm}$ における中央部の流速が 17m/s であるのに比べかなり大きい。これは噴霧粒子が噴射時に微粒化用空気の噴出速度約 130m/s によって加速されたことに起因するものであろう。同様に $G_{aa}=2,1\text{g/s}$ の



(a) $G_{aa}=3\text{g/s}$



(b) $G_{aa}=2\text{g/s}$



(c) $G_{aa}=1\text{g/s}$

Fig.15 Distribution of axial velocity of droplets for $G_{aa}=1$ to 3g/s with parameter of combustion air flow rate in case of $G_f=0.8\text{g/s}$.

場合も図 9 における流速よりいずれもかなり大きい値であり、しかも G_a によらずほぼ同じである。このことは中央部の粒子速度は微粒化用空気の噴出速度に大きく依存することを示す。なお、図 15(a)において、バリデーシンの低いデータはプロットから除いた。

次に、半径がほぼ 15mm 以上の外周部について考える。図 9 より、この位置での流速は G_{aa} によらず 10m/s でほぼ一定である。図 15 において、図 9 に対応する $G_a=40\text{g/s}$ の場合、 $G_{aa}=1\text{g/s}$ では流速と粒子速度はほぼ一致するが、 $G_{aa}=2,3\text{g/s}$ では必ずしも一致するとはいえない。しかし、 G_a の増加にほぼ比例して粒子速度も増加しており、外周部では燃焼空気の流速に影響されているといえる。

また、燃料流量を $0.4, 0.6\text{g/s}$ と変化させても、粒子速度の分布は図 15 における $G_f=0.8\text{g/s}$ の場合とほぼ同じであった。

3.3.3 噴霧挙動の解析

燃料噴霧と微粒化用空気および燃焼空気の流れの概念を図 16 に示す。噴霧粒子の軸方向速度に影響を与える因子は燃料の噴射速度 V_f 、微粒化用空気の噴出速度 V_{aa} および燃焼空気の流速である。ここで、燃焼空気の流速について、スプリッター内側と外側の平均流速をそれぞれ V_{ac1} , V_{ac2} とする。

平均粒径に対しては、微粒化用空気流量すなわち噴出速度の影響が大きく、また、粒子速度は微粒化用空気の噴出速度とともに燃焼空気の流量すなわち流速に影響されることを示した。これらについて、粒径と粒子速度の散布図をもとに考察する。

図 16 において、速度 V_f で噴射された燃料噴霧は、微粒化用空気の噴出速度で加速され微粒化用空気流

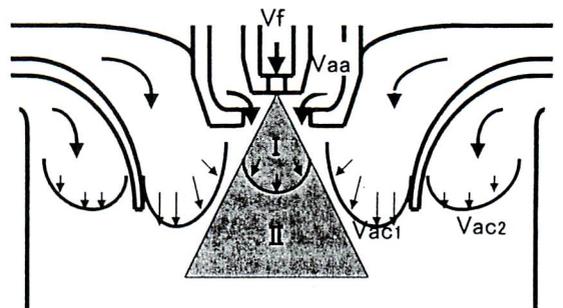


Fig.16 Concept of schematically described behaviors of spray, atomizing air and combustion air

に随伴して進み、燃焼空気と合流してその流速の影響を受けて蒸発管に流入すると考える。ここで、図中

示すように噴霧が燃焼空気の影響を受けない領域を I, 受ける領域を II とする。また、前述により、噴霧

粒子は $G_{aa}=1g/s$ の時のように V_{aa} が小さい場合は外周部に大きな粒径の粒子が分布し、 $G_{aa}=3g/s$ の時のように V_{aa} が大きい場合は中央部に粒径の小さな粒子が多数分布する傾向を持つことを示した。

図 15 の $G_{aa}=1, 2g/s$ について、代表例として、 $R=0mm$ と $R=20mm$ における粒径と粒子速度の散布図をそれぞれ図 17, 18 に示す。また、図 15 の条件について、図 16 に示す各部の平均速度を算出した結果を表 3 に示す。ここで、 V_{av} は蒸発管内の空気流の平均流速を示す。流量係数は、微粒化用空気の場合、0.8 とした。燃料の噴射速度は $G_f=0.8g/s$ の時、 $V_f=11m/s$ である。この時の流量係数も 0.8 とした。ここで、 $R=0mm$ は気流の旋回中心で、図 10 に示すように空気の流は旋回角 0° の下向き流れである。

図 17 の微粒化用空気流量が $1g/s$ の場合について考察する。この場合は微粒化用空気流量が少なく、図

7, 8 で述べたように燃焼空気の流速が支配的な流れ場である。 $G_{aa}=1g/s$ の条件では図 16 の I の領域でホローコーン状の噴霧を形成し、シース部に大きな粒子径も形成される噴霧である。

$R=0mm$ についてみると $G_a=20, 40, 60g/s$ のいずれの場合も微細粒子が多いが、 $60\mu m$ 程度の粒子も散在する。 $G_a=20, 40g/s$ では、これらの平均粒子速度は $10m/s$ 程度で一定で、 G_a が変化してもあまり変わらず、微粒化用空気速度が支配的であるといえる。しかし、 $G_a=60g/s$ では粒径が $10\mu m$ から $3.4\mu m$ にかけて粒子速度は変化しており、燃焼空気流量の影響がみられる。これは図 16 で示すように V_{ac1} の増加により領域 II で

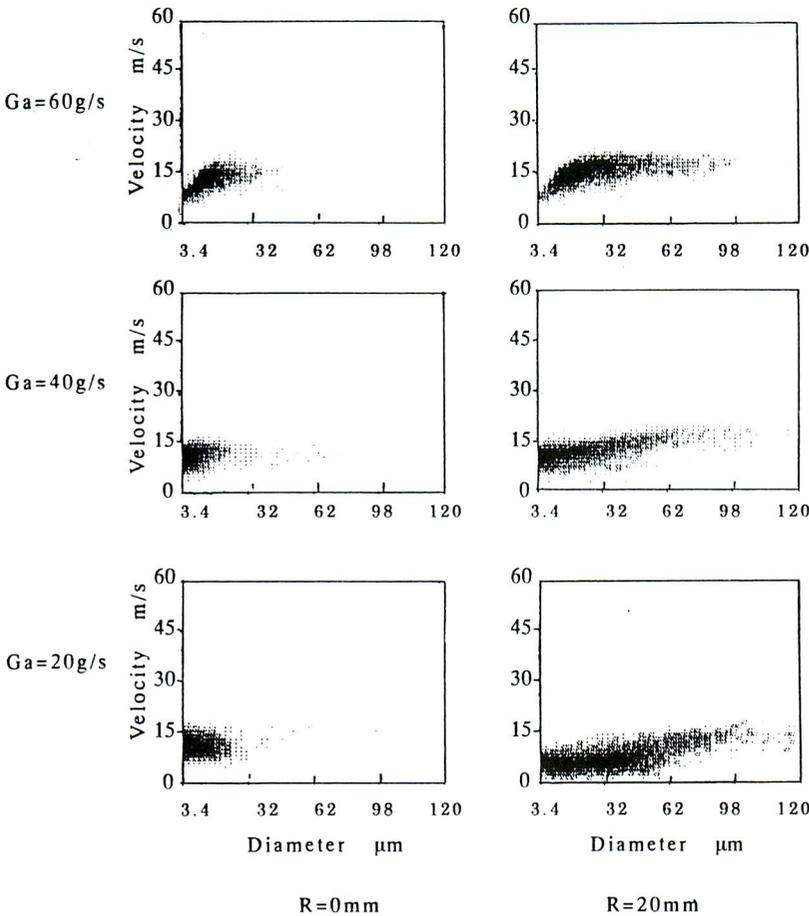


Fig.17 Scatter diagrams of particle size and particle velocity in case of $G_{aa}=1g/s$ as shown in Fig.15

Table 3 Calculated velocities for varying flow rate of combustion air and atomizing air at locations shown in Fig. 16

G_a (g/s)	G_{aa} (g/s)	V_{aa} (m/s)	V_{av} (m/s)	V_{ac1} (m/s)	V_{ac2} (m/s)
20	1	47	4.7	11	3
20	2	95	4.9	12	3
20	3	141	5.1	13	3
40	1	47	9.1	21	6
40	2	95	9.4	22	6
40	3	141	9.6	23	6
60	1	47	13.6	31	9
60	2	95	13.8	32	9
60	3	141	14.0	33	9

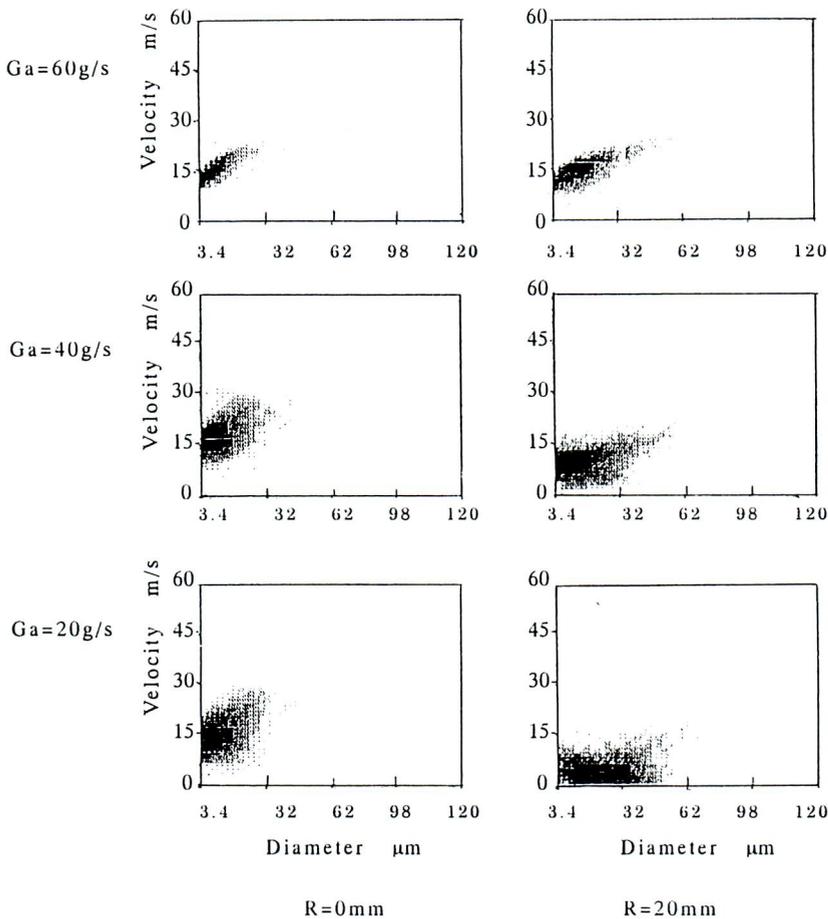


Fig.18 Scatter diagrams of particle size and particle velocity in case of $G_{aa}=2g/s$ shown in Fig.15

燃焼空気の流速が増加した結果であろう。また、粒径 $3.4\mu m$ 近傍で粒子速度が $G_a=20, 40g/s$ の場合より低くなっている。これについては、 $G_{aa}=2g/s$ においても同様の現象がみられるので図 18 で述べる。

$R=20mm$ についてみると、粒径 $120\mu m$ 程度までの大きな粒子が多数存在し、 $G_a=20g/s$ では粒径 $75\sim 120\mu m$ の平均粒子速度は $14m/s$ 程度である。 $G_a=40, 60g/s$ と増加した場合、平均粒子速度は $15, 16m/s$ と増加するが大きな差異はない。これは領域 II の燃焼空気の流速増加の影響を受けて加速されるものの大きな粒径の粒子に対してはその影響が少なく、微粒化用空気の流速 V_{aa} が支配的であるからであろう。一方、 $10\sim 20\mu m$ 以下の微細粒子は燃焼空気の流速の影響を大きくうけていると思われる。 $G_a=40g/s$ の場合、 $R=20mm$ の流速は図 9 より $10m/s$ 程度であり、散布図の平均粒子速度とほぼ一致す

る。また、 $G_a=20, 60g/s$ の場合も流速は $5, 15m/s$ であり、散布図の平均粒子速度とよく一致する。この位置 ($L_{pv}=100mm$) の流速は、表 3 の蒸発管内の平均流速 V_{av} にほぼ等しくなっている。

図 18 は $G_{aa}=2g/s$ の場合である。 V_{aa} は $G_{aa}=1g/s$ の場合の 2 倍となり、図 16 の領域 I は拡大される。 $R=0mm$ の場合についてみると、 $G_a=40g/s$ の条件では $10\mu m$ 以下の平均粒子速度は $17m/s$ である。一般的に粒径 $10\mu m$ 以下の粒子速度は気流の流速とほぼ同等になるといわれるが、図 9 に示す $L_{pv}=100mm$ の流速 $8m/s$ より速く、図 11 に示すように、さらに上流側である $L_{pv}=40mm, G_{aa}=2g/s$ の流速 $12m/s$ より速い。図 7 の $G_{aa}=2g/s$ における流速 $16m/s$ に近い値である。このことから、領域 I で加速された粒子が領域 II で燃焼空気の影響をうけるもののその影響は少なく、粒子群として飛翔し空気抵抗が少ないぶん粒子の速度が後流まで保持されたと考える。これは、 $G_a=20g/s$ の場合も同様の平均粒子速度を示すことから推察される。また、粒径 $30\mu m$ 程度に散在する粒子速度は $10\mu m$ 以下のものより大きく減速の度合いが低い。このことから、 $20\sim 30\mu m$ の小径粒子は減速の度合いが低く微粒化用空気の噴出速度 V_{aa} によって加速され後流まで高い粒子速度を保持するが、 $10\mu m$ 以下の微細粒子は V_{aa} により加速されるものの飛翔中に減速するものと思われる。 $G_a=60g/s$ の場合、粒径 $3.4\mu m$ 近傍の粒子速度は $G_a=20, 40g/s$ における粒子速度より低下している。このことは図 11 で述べたように、 $G_a=60g/s$ では $G_a=20, 40g/s$ の場合より中央部の流速が遅くなっており、その結果によるものと思われ

る。

R=20mm の場合は、 $Gaa=1g/s$ の時のように大きな粒径の粒子は存在しないが、噴霧の挙動は同様の傾向を示した。

4. まとめ

ガスタービン燃焼器の混合気形成の設計資料を得るため、エアアシスト式噴射弁を用いて、常温空気条件における気流の流動状態と噴霧の挙動を調べた結果、以下のことがわかった。

- (1) 微粒化用空気流量が噴霧の微粒化に支配的であり、ザウター平均粒径は燃焼空気の流速にはあまり影響されない。微粒化用空気流量が $3g/s$ では $20\mu m$ 程度の微細噴霧が中央部に形成され、 $2g/s$ 以下で貫通力の大きい噴霧が形成される。
- (2) PDPA で測定したザウター平均粒径は、抜山一棚沢の式 (1) から求めた平均粒径より小さく、従来の関係式との相関について、さらに検討する必要がある。
- (3) スプリッターを用いた混合気形成方式は、蒸発管内の空気の流速分布を制御できることおよび微粒化用空気と燃焼空気の流量を変えた場合の流速分布特性を明らかにした。
- (4) 噴霧が微粒化用空気の噴出速度の影響を受ける領域 I と燃焼空気の流速の影響が加わる領域 II が考えられ、噴霧の挙動におよぼすそれらの影響は粒径によって異なるといえる。

本研究は通商産業省資源エネルギー庁の補助金を得て、(財)石油産業活性化センターが実施している技術開発事業の一環として行われたものである。

文 献

- (1) M. Sasaki, 他 4 名, ASME paper 97-GT-462, (1997).
- (2) 吉田, 他 2 名, 第 13 回ガスタービン秋季講演会講演論文集 (函館), (1998), 83-88.
- (3) 大久保, 井戸田, ガスタービン秋季講演会 (盛岡) 講演論文集, (1993), 101-108.
- (4) 機械学会, 技術資料, 流体計測法, (1986), 79.
- (5) 抜山, 棚沢, 機械学会論文集, 第 5 巻 18 号, (1939), 68-75.
- (6) Karasawa, 他 4 名, Proceeding of 6th ICLASS, Rouen (1994), 421-428.



吉田 祐作
(財)日本自動車研究所
エンジン・環境研究部
〒305-0822
茨城県つくば市荻間 2530
Tel: 0298-56-1111
Fax: 0298-56-1134
E-mail: yyosida@jari.or.jp

略歴: 1971 年群馬大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。同年(財)日本自動車研究所に入所。主としてメタノール改質ガスエンジン、自動車用セラミックガスタービン、触媒燃焼器などの研究開発に従事。



親川 兼俊
(財)日本自動車研究所
先進動力機構研究室
〒305-0822
茨城県つくば市荻間 2530
Tel: 0298-56-1111
Fax: 0298-56-1169
E-mail: koyakawa@jari.or.jp

略歴: 1985 年東京都立大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程終了。1986 年(財)日本自動車研究所に入所。主として自動車用セラミックガスタービン、ダイレクトメタノール燃料電池の研究開発に従事。



柄沢 隆夫
群馬大学 工学部
機械システム工学科 教授
〒376-8515
群馬県桐生市天神町 1-5-1
Tel: 0277-30-1515
Fax: 0277-30-1599 (科共通)

略歴: 1957 年群馬大学工学部機械工学科卒業。
同年 東洋紡績(株)入社。
1962 年 群馬大学工学部機械工学科 助手
1992 年 群馬大学工学部機械工学科 助教授
1994 年 群馬大学工学部機械工学科 教授