



研究論文

壁面衝突噴霧の燃料付着率推定法の検討

A Study on Estimation of the Adhered Fuel Ratio of Wall-impinging Spray

増田 糧 (Ryo MASUDA) 株式会社豊田中央研究所 (Toyota Central R&D Labs., Inc.)
 河村 清美 (Kiyomi KAWAMURA) 株式会社豊田中央研究所 (Toyota Central R&D Labs., Inc.)
 永岡 真 (Makoto NAGAOKA) 株式会社豊田中央研究所 (Toyota Central R&D Labs., Inc.)

溝渕 剛史 (Takeshi MIZOBUCHI) 株式会社デンソー (DENSO CORPORATION)
 鈴木 久雄 (Hisao SUZUKI) トヨタ自動車株式会社 (TOYOTA MOTOR CORPORATION)

An estimation model of adhered fuel ratio of wall-impinging sprays was proposed. In the previous paper, one of the authors has proposed the calculation model of the adhered fuel ratio derived from the principle of cascade impactor behavior. However, the model supposes sufficient amount of injected fuel which can be considered as a quasi-steady condition. In this research, the model was improved in order to consider the influence of injection quantity. The adhered fuel ratio of arbitrary injection quantity (injection period) is expressed as a function of the adhered fuel ratio of the steady state injection condition and the characteristic injection period of the adhered fuel ratio. The two parameters are estimated from the free spray characteristics. The model was studied by numerical calculation (CFD) of free sprays and wall-impinging sprays. The estimated adhered fuel ratio agreed well with both the CFD and the measurement results.

Keywords: Numerical Study, Wall-impinging Spray, Wall Wet, Inertial Parameter, Adhered Fuel Ratio

1. はじめに

筒内直接噴射式ガソリンエンジンにおいて、噴射された燃料噴霧がボア壁面へ衝突することによる燃料付着を低減することは、燃費やエミッションなどのエンジン性能向上および空燃比などの制御性向上のために重要な課題であり、噴霧特性と壁面付着の関係を調べることはエンジン開発において有用な情報をもたらす。そのため、3D CFDの噴霧壁面衝突モデル^{(1)~(4)}の開発等が進められ、噴霧の壁面衝突挙動の解析が行われてきた。その一方で簡易的に壁面燃料付着量を予測する方法も検討され、著者らは粉塵捕集の分野で提案された慣性パラメータ⁽⁵⁾による粉塵捕集効率の式がディーゼル燃料の壁面衝突噴霧の付着率の推定に応用できることを報告した⁽⁶⁾⁽⁷⁾。ただし、このときは準定常噴霧とみなせる比較的噴射期間が長い条件を対象としており、噴射量(噴射期間)の影響は未考慮であった。そこで、本研究では壁面への燃料付着率に対する噴射量(噴射期間)の影響を考慮できるようにモデルを改良した。本報では、直噴ガソリンエンジンの噴霧を模擬した数値解析を用い、壁面衝突噴霧の燃料付着率推定方法を検討した結果を報告する。

2. 方法

2.1 慣性パラメータによる付着率推定

慣性パラメータ⁽⁵⁾は、粒子の慣性力と流体抵抗の比を表す無次元パラメータであり、微粒子の運動における慣性効果・拡散効果・さえぎり効果・重力効果・静電気効果などの機構のうち、慣性効果による捕集板への衝突の有無を表す指標となる。

慣性パラメータの導出を以下に示す。まず、単一の粒子に着目し、粒径 d_p の球形粒子が周囲流体との相対速度 U で飛行する場合を考える。周囲流体から受ける抵抗 F は次式となる。

$$F = C_D \cdot \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot \frac{\rho_a U^2}{2} \quad (1)$$

ここで、 C_D は抵抗係数、 ρ_a は周囲流体の密度である。また、 C_D は粒子のレイノルズ数 $Re = \rho_a U d_p / \mu_a$ によって、以下の3領域に分類される。ここで μ_a は周囲流体の粘性係数である。

$$C_D = \begin{cases} \frac{Re}{24} & : Re \leq 2 \quad (\text{Stokes域}) \\ \frac{10}{\sqrt{Re}} & : 2 < Re < 500 \quad (\text{Allen域}) \\ 0.44 & : 500 \leq Re \quad (\text{Newton域}) \end{cases} \quad (2)$$

一般的な直噴ガソリンエンジン用インジェクタの噴射条件では、本論文で検討した衝突距離である噴孔下50~70mm付近におけるザウタ平均粒径および液滴の平均速度はそれぞれおよそ5~

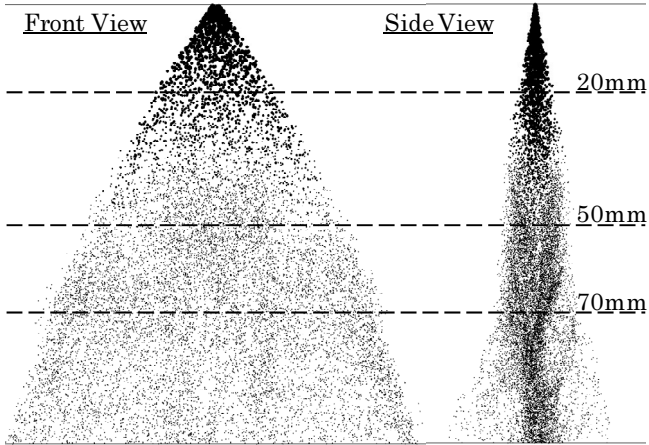


Fig. 1 Free spray shape of the base spray (CFD result)

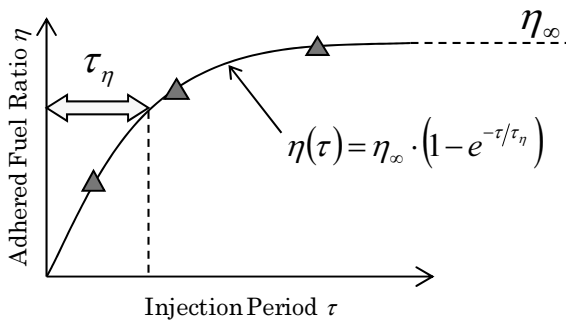


Fig. 2 Schematic view of the relation between injection period and adhered fuel ratio

30 μ m, および20~200m/sの範囲にあり, これらの値から算出されるレイノルズ数の範囲はおよそ5~400となる. したがって, 噴霧の周囲に漂う低速の液滴を除く大半の液滴はAllen域に入るため, 本報ではAllen域での粒子挙動のみを考慮する. その他の外力(重力など)を無視すると, 粒子の運動方程式は次式となる.

$$-m \cdot \frac{dV}{dt} = F = \frac{10}{\sqrt{Re}} \cdot \frac{\pi d_p^2}{4} \cdot \frac{\rho_a U^2}{2} \quad (3)$$

ここで, m は粒子の質量である. 粒子は周囲流体からの抵抗を受けて時間とともに減速する. ここで, 粒子と周期気体との相対速度 U と粒子速度 V は等しい, すなわち周囲流体は静止状態を維持すると仮定し, 粒子の初速を V_0 として式(3)を時間積分すると粒子速度 V の時間履歴は

$$V(t) = \left(V_0^{0.5} + \frac{5\pi}{8} \frac{\sqrt{\mu_a \rho_a}}{m} d_p^{1.5} t \right)^{-2} \quad (4)$$

となり, 粒子の到達距離 S は次式となる.

$$S = \int_0^\infty V = V_0^{0.5} \cdot \frac{4}{15} d_p^{1.5} \frac{\rho_p}{\sqrt{\mu_a \rho_a}} \quad (5)$$

慣性パラメータ Φ は, 到達距離 S と代表長さ D の比として以下で定義される.

Computational Domain	
Dimensions	Free Spray 300mm(X) x 300mm(Y) x 100mm(Z) (51 x 51 x 32 mesh)
	Wall-impinging Spray 300mm(X) x 300mm(Y) x 70mm(Z) (51 x 51 x 24 mesh)
min. mesh size	$\Delta=1$ mm
Calculation Setup	
Duration	5ms (free spray) 10ms (wall-impinging spray)
Time step	$\Delta t=0.01$ ms
Fluid	Fuel: Gasoline Gas: Air (1atm, 298K, static)
Velocity-Pressure coupling method	SIMPLE
Differencing Scheme	Velocity, Turbulence: AVL SMART Relaxed
	Pressure: Central Differencing Scheme
Turbulence model	Standard k- ϵ model with hybrid wall function
Spray and Wallfilm model	
Spray model	Discrete Droplet Model (DDM)
Breakup model	Huh-Gosman ⁽⁸⁾
Evaporation model	Dukowicz ⁽⁹⁾
Turbulent dispersion model	O'Rourke ⁽¹⁰⁾
Spray-Wall interaction model	Maichle-Weigand ⁽⁴⁾⁽¹¹⁾ and wallfilm model ⁽¹¹⁾

$$\Phi = \frac{S}{D} = \left(\frac{4\rho_p}{15D} \right) \cdot \left(\frac{V_0}{\mu_a \rho_a} \right)^{0.5} \cdot d_p^{1.5} \quad (6)$$

本研究では, 式(6)を噴霧に適用するにあたり, D は噴霧断面形状の代表長さ, V_0 は噴霧の代表速度(以後 V と表記する), d_p は代表粒径として定義した. ここで, ρ_p は燃料の密度, μ_a および ρ_a はそれぞれ霧囲気の粘性係数および密度である. 図1に本報でベースとしたノズルからの自由噴霧の時刻4msにおける噴霧形状の正面視および側面視を示す. 噴霧特性量(D, V, d_p)は, 噴孔から衝突距離下方(ここでは50mmまたは70mm)の平面を計測面とし, 計測面を通過する噴霧が安定する $t=2\sim 4$ msの期間の自由噴霧のデータから求めたザウタ平均粒径を d_p , 平均流速を V に用いた. また, 同期間中に各断面を通過する液滴の座標の集合から抽出した輪郭を噴霧の断面形状と定義し, 噴霧断面積を算出した. 代表長さ D は噴霧根本(噴孔下20mm)の噴霧断面積 A_{20mm} を噴孔位置からの距離を用いて線形に外挿して求めた衝突距離 L における噴霧面積の1/2 ($D = \sqrt{A_{20mm}} \cdot L/20$) 乗を用いた.

粉塵の捕集効率は以下の実験式が提案されている⁽⁵⁾.

$$\eta_{calc} = \left(\frac{\Phi}{\Phi + 0.414 \cdot \phi_{50}} \right)^2 \quad (7)$$

ここで, ϕ_{50} は捕集効率が50%となる慣性パラメータの値であり, ノズル噴孔形状や捕集板の形状によって変化する. 式(7)は定常

状態の含塵気流中での捕集板に対する捕集率の実験式である。この実験式は定常状態を前提にしたものであり、間欠噴射式燃料噴射弁では過渡状態も含まれるため、式(7)を全ての噴射条件に対して直接適用することはできない。そこで、本研究では噴射期間の異なる噴霧に対応できるように改良した。噴射期間と燃料付着率との関係は、図2に示すように噴射期間 τ が長くなるにつれて壁面への燃料付着率 η はある一定値 η_∞ (定常噴射状態での燃料付着率に相当)に漸近する挙動を示す。噴射期間が十分に長い場合は噴霧および周囲気体の流れは準定常状態となり、式(7)を直接適用できると考えられるが、準定常状態に至るまでの過程においては噴射される燃料液滴の運動量の一部は周囲気体との速度差に応じて気流を誘起するのに消費されるため、噴射期間が短い場合は上記の定常状態の場合よりも衝突距離における噴霧液滴の慣性力は小さくなり、液滴の慣性効果による壁面衝突は起こりにくくなると考えられる。ここでは、噴射期間 τ に対する燃料付着率 η の挙動を一次遅れの応答で模擬し、燃料付着率 η を噴射期間 τ の関数として次式(図中の実線)で表す。

$$\eta(\tau) = \eta_\infty \cdot (1 - e^{-\tau/\tau_\eta}) \quad (8)$$

ここで、 τ_η は燃料付着の特性時間(特性噴射期間)である。本研究では、壁面衝突噴霧のCFD計算を噴射量 15mm^3 、 30mm^3 、および 60mm^3 について実施し、燃料付着率から式(8)の2つのパラメータ η_∞ と τ_η を最小二乗法により求めた。さらに、自由噴霧の噴霧特性(D , V , d_p)と壁面衝突噴霧の特性噴射期間 τ_η との関係から相関の強いパラメータを抽出した結果、代表長さ D を代表速度 V で割った代表時間 T を用いて τ_η を次式で近似した。

$$\tau_\eta = A \cdot T^b \quad (9)$$

ここで、パラメータ A および b は最小二乗法で算出した。以上より、式(6)~(9)によって自由噴霧の噴霧特性(D , V , d_p)から所定の噴射期間 τ における壁面への燃料付着率 $\eta(\tau)$ を推定できる。

2.2 噴霧 CFD

自由噴霧および壁面衝突噴霧のCFD解析により、自由噴霧の噴霧特性(D , V , d_p)および壁面への燃料付着率を比較した。

解析にはAVL社製流体解析ソフトFIRE(v2009)を用いた。計算条件を表1に示す。自由噴霧の計算では、計算領域の奥行きと幅は300mm、高さは100mmとし、全ての境界面を流入流出境界条件とした。メッシュ分割数は $51 \times 51 \times 32$ 、最小格子幅は1mmである。壁面衝突噴霧の計算では、計算領域の幅と奥行きは300mm、高さを70mm($z=0 \sim 70\text{mm}$)とし、 $z=0$ の面を常温の滑りなし壁とした。メッシュ分割数は $51 \times 51 \times 24$ 、最小格子幅は1mmである。解析期間は自由噴霧の計算では5ms、壁面衝突噴霧の計算では10msとし、時間刻みは0.01msとした。乱流モデルには標準 $k-\epsilon$ モデルを境界層内部の粘性低層と対数領域を滑り速度の関数で近似するハイブリッド壁関数と組み合わせて用いた。噴霧モデルは液滴のパーセルをLagrange的に追跡する離散液滴モデル(DDM)を用い、液滴分裂はHuh-Gosman⁽⁸⁾、蒸発はDukowicz⁽⁹⁾、乱流分散力はO'Rourke⁽¹⁰⁾、壁面衝突はMaichle-Weigand⁽⁴⁾⁽¹¹⁾のモデルを用いた。Maichle-Weigandのモデルでは、乾き壁面、乾き壁面上の付着液滴(単一液滴またはプール状の液滴群)および濡れ壁面(液膜)への衝突液滴について、

Table 2 Injection Condition

Spray Shape, Injection Pressure and Wall Distance of the Wall-impinging Spray			
Nozzle	Spray angle, deg. (Front x Side)	Injection pressure, MPa	Wall distance, mm
A	70 x 20	20 MPa 40 MPa 80 MPa	70 mm
		20 MPa	50 mm
B	70 x 10	20 MPa	70 mm
C	70 x 30		
D	70 x 40		
E	60 x 20		
F	50 x 20		
G	40 x 20		
H	30 x 20		
Injection Period τ , or Injected Fuel Amount Q Free Spray: $\tau = 4\text{ms}$ Wall-impinging Spray: Q=15mm ³ , 30mm ³ , 60mm ³ Wall Temperature: 298K			

液滴のウェーバー数、オーネズルゲ数、液膜厚さ等を考慮した液滴の付着、リバウンド、2次液滴の飛散、および付着液滴の液膜への成長が考慮される。

比較した噴射ノズルと条件を表2に示す。ここでは噴霧形状(正面および側面噴霧角)の異なる8種類のノズル(A~H)を用いてパラメータスタディを行った。また、ベースとなる噴霧A(噴霧角70deg×20deg, 燃料噴射圧20MPa, 衝突距離70mm, 以後A-Base)について、噴射圧の影響(40MPaおよび80MPa)および衝突距離の影響(50mm)も比較した。ここではA-Baseの条件(図1)において、同条件の計測データおよび噴霧写真から、噴霧形状(噴霧角および噴霧長)、ザウタ平均粒径および液滴平均速度の実測データとの誤差が5%以内となるように噴射速度、噴射角および液滴分裂モデルのパラメータを設定した。計測データはノズルAから噴射圧20MPa、噴射期間5msで噴射した燃料噴霧の噴孔下流50mmにおける噴霧中心での粒径および液滴速度をPDA装置で計測し、計測点を通過する噴霧が安定する $t=2 \sim 5\text{ms}$ の区間のデータからザウタ平均粒径および平均流速を求めた。液滴分裂以外のモデルのパラメータはデフォルト値を用いた。また、ノズルの流量係数が噴射圧によって変化しないと仮定(ノズル内のキャビテーションによる流れの変化等の影響を無視)して噴射速度を噴射圧の1/2乗に比例するように与えることで噴射圧の影響を模擬した。他のノズル形状(B~H)の噴霧モデルパラメータについてはノズルAと同じ値を用いて比較した。

自由噴霧の計算では、噴孔位置($X=0\text{mm}$, $Y=0\text{mm}$, $Z=70\text{mm}$)から鉛直方向(Z 方向)に燃料を常温・大気圧の静止空气中に噴射し、所定の位置(噴孔下50mm, 70mmの X - Y 平面)での噴霧特性を求めた。壁面衝突噴霧の計算では、雰囲気条件は自由噴霧と同一とし、所定の衝突距離(50mm, 70mm)から壁面に垂直に燃料を噴射し、噴霧の壁面衝突モデルおよび液膜モデルを用いて壁面衝突噴霧の燃料付着量を求め、総噴射量に対する付着燃料量の割合を燃料付着率と定義した。なお、本論文の条件では形成される液膜は最も大きいものでおよそ $100\text{mm} \times 25\text{mm}$ 程度であり、設定した壁面(計算領域)の大きさ300mm四方に収まる

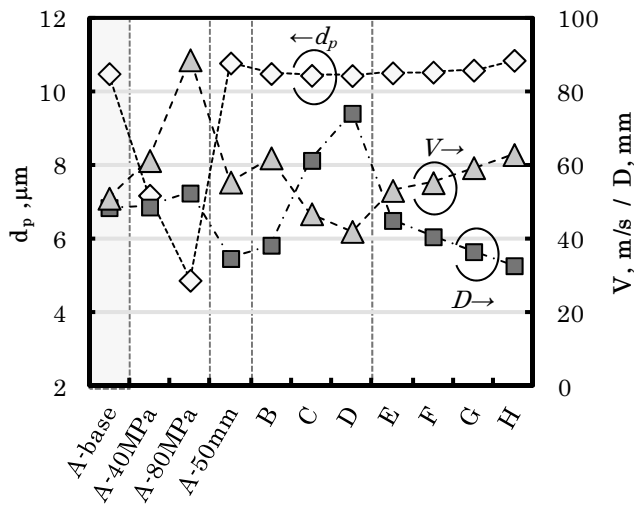


Fig. 3 Spray characteristics (CFD results)

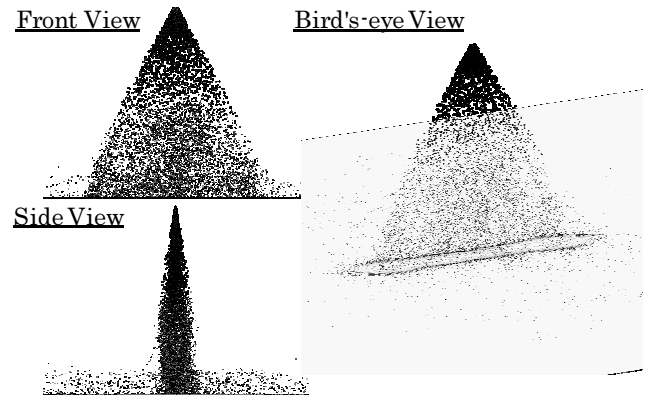


Fig. 5 Shape of the wall-impinging spray and the wallfilm from the base nozzle (CFD result)

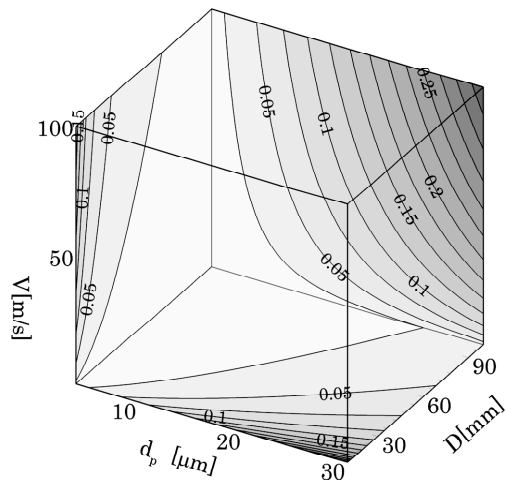


Fig. 4 Relation between the spray characteristics and the inertial parameter

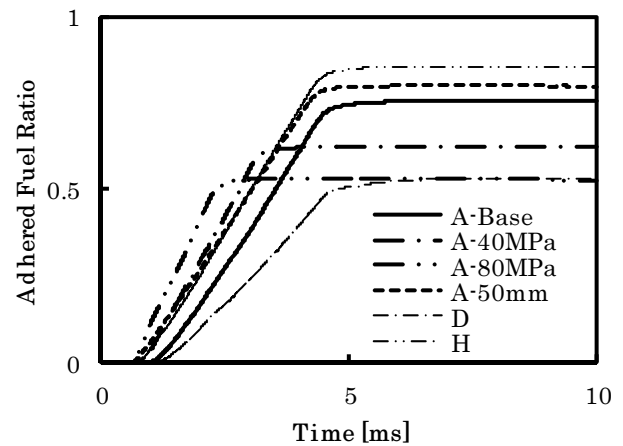


Fig. 6 Time history of the adhered fuel ratio

ことを確認した。また、付着燃料の大部分は燃料液滴の一回目の壁面衝突時に付着しており、その後の浮遊液滴の付着および液膜からの燃料蒸発の影響は無視できるほど小さく、比較したどの条件でもおよそ5~8ms以降で付着燃料量はほぼ一定値となったため、全条件とも計算終了時(噴射開始後10ms)の付着燃料量を用いて燃料付着率を算出した。

4. 結果

CFD計算結果から得られた各噴射条件の自由噴霧の噴霧特性を図3に示す。ベース条件(A-base)に対し、噴射圧が高いほど粒径は小さく、流速は高くなるが、代表長さはほとんど変化しない(A-40MPa, A-80MPa)。衝突距離が50mmの条件(A-50mm)では噴霧特性の計測面の位置(噴孔下50mm)がベース条件(噴孔下70mm)よりも噴孔に近いので粒径と流速はともにわずかに大きくなり、代表長さは小さくなる。側面噴霧角および正面噴霧角を変化させた場合(B~H)は粒径はベースとほとんど同じであるが、噴霧角がベースよりも広くなる(噴霧断面積が増加す

る)につれて噴霧と周囲空気との運動量交換により流速は低くなり、代表長さは大きくなる。これらの3つの噴霧特性量と慣性パラメータ式(6)との関係を図4に示す。図は、3次元プロットのX, Y, Z軸がそれぞれ d_p , D , V でありX-Y, X-Z, Y-Zの3平面上に慣性パラメータ Φ の等高線を表示した。また、等高線上にその値を記した。粒径および速度は小さいほど、代表長さは大きいほど慣性パラメータは小さくなる。

図5にA-Base(噴射量 60mm^3)の時刻 $t=4\text{ms}$ における壁面衝突噴霧および壁面付着液膜を示す。また、壁面衝突噴霧のCFD結果から求めた代表的な噴霧の噴射量 60mm^3 での燃料付着率の時間履歴を図6に、噴射量と燃料付着率の関係および近似式(8)のプロットを図7にそれぞれ示す。雰囲気条件は常温場のため燃料蒸発の影響は小さく、前述の通り壁面衝突終了後の付着率はほぼ一定となる(図6)。また、各条件とも燃料噴射量に対する付着率の傾向は式(8)でよく表されることがわかる(図7)。ほとんどの噴霧は噴射量が 60mm^3 以上でほぼ定常噴射状態の付着率 η_w と同程度となる。また、 η_w が大きい噴霧ほど特性噴射期間 τ_η が短くなる傾向を示す。

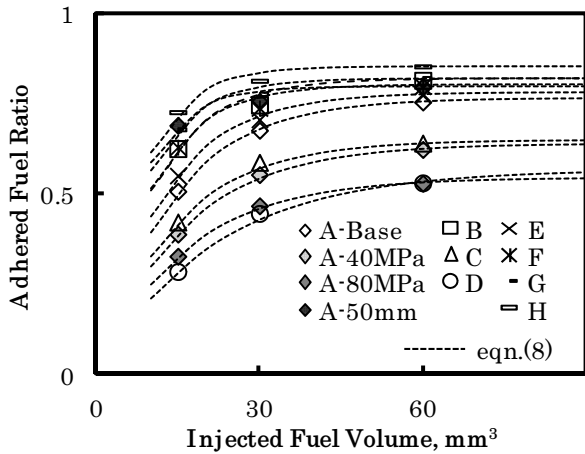


Fig. 7 Relation between injected fuel volume and the adhered fuel ratio (CFD results)

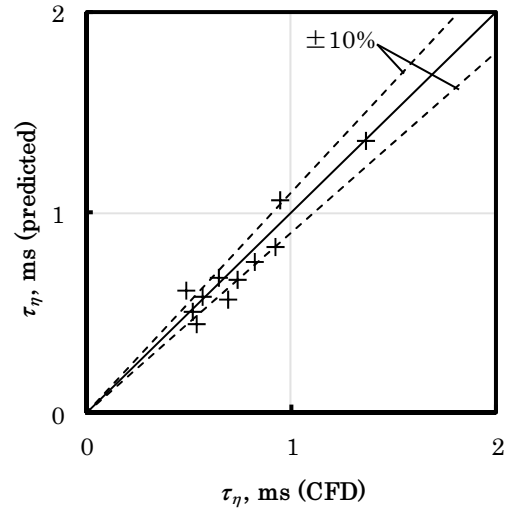


Fig. 9 Comparison of the characteristic injection period between CFD and prediction

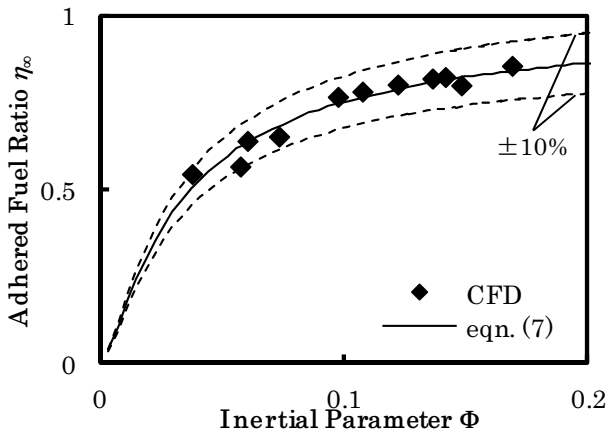


Fig. 8 Relation between the inertial parameter and the adhered fuel ratio

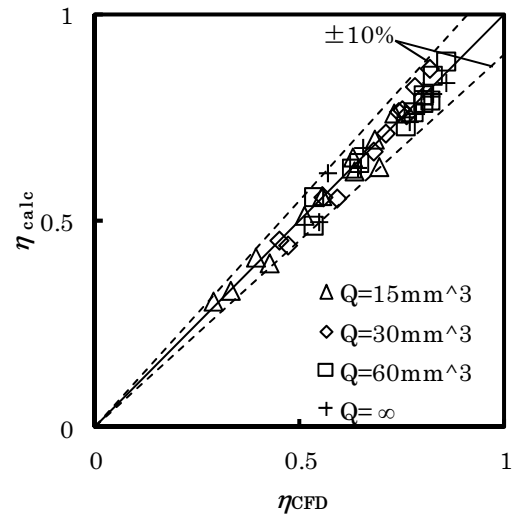


Fig. 10 Comparison of the adhered fuel ratio between CFD and prediction

全噴射条件の慣性パラメータ Φ と壁面衝突噴霧のCFD結果から求めた定常噴射状態における燃料付着率 η_∞ の関係、および推定式(7)のプロットを図8に、壁面衝突噴霧のCFD結果から求めた特性噴射期間 τ_η と式(9)による特性噴射期間 τ_η の推定値との関係を図9にそれぞれ示す。自由噴霧の噴霧特性から算出した慣性パラメータ Φ (式(6))および燃料付着率の推定式(7)により壁面衝突噴霧の燃料付着率 η_∞ は10%以下の精度で良く再現した(図8)。また、式(9)は特性噴射期間 τ_η をおよそ10%の精度で再現するが、特性噴射期間が小さい高压噴射条件および噴霧角が狭い条件では誤差はやや大きい。噴霧のCFDでは蒸発を含む計算を行なっているのに対し、推定式中には蒸発の影響が陽的に含まれないことが誤差の要因の一つと考えられる。

本論文で構築した式(6)~(9)による燃料付着率の推定法について、図10に噴射量 $Q=15\text{mm}^3$, 30mm^3 , 60mm^3 , および η_∞ (図

中 $Q=\infty$)の燃料付着率のCFD結果と推定値との比較を示す。定常噴射状態も含むどの噴射量においても本推定法による燃料付着率 η の推定値は誤差10%以下でCFD結果と良く一致しており、自由噴霧の3つの特性量(D , V , d_p)および3つのモデルパラメータ(ϕ_{50} , A , b)のみで平板壁面への壁面衝突噴霧の燃料付着率を推定できることが示された。

最後に、ベースノズルAおよび形状の異なる別の3種類のノズル(I~K)について、自由噴霧の噴霧特性の計測結果を図11に、壁面衝突噴霧の燃料付着率の計測結果と本推定法による推定値との比較を図12にそれぞれ示す。ここでは、壁面衝突噴霧の衝突距離と同じ距離の平面における自由噴霧(噴射期間5ms)の粒径および粒子速度をPDA装置およびトラバース装置を用いて $4\text{mm} \times 2\text{mm}$ の格子間隔で断面計測し、データの時間履歴を確認して噴霧が安定する区間のデータから断面内のザウタ平均粒

噴射量, および衝突距離の影響をよく再現していることが確認できる。

5. まとめ

自由噴霧の基本的な噴霧特性量(断面のザウタ平均粒径, 平均流速, 噴霧面積)からの平板への壁面衝突噴霧の燃料付着率推定法について, これまでに提案された慣性パラメータによる燃料付着率の実験式に改良を加え, 噴射量の異なる場合にも応用できる推定方法を提案した. 直噴ガソリンエンジン用の扇状の噴霧を模擬した自由噴霧および壁面衝突噴霧の数値解析(CFD)を用いて検討した結果を以下にまとめる。

- 間欠噴射となる燃料噴霧では, 噴射量に対する燃料付着率は, 連続噴射状態における燃料付着率 η_w と特性時間(特性噴射期間) τ_p の2つのパラメータで整理できる。
- 噴霧形状および粒径, 速度などの噴霧特性が異なる複数のノズルに対し, 噴射圧, 噴射量および衝突距離射条件を変化させた場合の本手法による壁面衝突噴霧の燃料付着率の推定値はCFDおよび実測結果の傾向をよく再現した。

文 献

- (1)Naber, J.D. and Reitz, R.D., Modeling Engine Spray/Wall Impingement, SAE Paper 880107 (1988).
- (2)Bai, C. and Gosman, A.D., Development of Methodology for Spray Impingement Simulation, SAE Paper 950283 (1995).
- (3)O'Rourke, P.J. and Amsden, A.A., A Spray/Wall Interaction Submodel for the KIVA-3 Wall Film Model, SAE Paper 2000-01-0271 (2000).
- (4)Maichle, F., Weigand, B., Trackl, K. and Wiesler, B., Numerical Simulation of Rainwater Management in Car Climatization, SAE Paper 2005-01-1882 (2005).
- (5)日本空気清浄協会編：空気清浄ハンドブック, オーム社 (1981).
- (6)齊藤昭則, 河村清美, 渡部哲, 高橋岳志, 都築尚幸: 高圧ディーゼル噴霧の壁面衝突挙動解析(第1報, 壁面衝突時の噴霧特性計測), 機論B, 59-566 (1993), 3290-3295.
- (7)河村清美, 齊藤昭則: 高圧ディーゼル噴霧の壁面衝突挙動解析(第2報, 壁面衝突噴霧のモデル), 機論B, 59-566 (1993), 3296-3301.
- (8)Huh, K. Y., Lee, E. and Koo, J. Y., Diesel Spray Atomization Model Considering Nozzle Exit Turbulence Conditions, Atomization and Sprays, 8 (1998), 453-469.
- (9)Dukowicz, J.K., A Particle-Fluid Numerical Model for Liquid Sprays, J. Comp. Phys, 35 (1980), 229-253.
- (10)Amsden, A. A., O'Rourke P. J. and Butler T. D., KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with Sprays, LA-11560-MS (1989).
- (11)AVL FIRE® Version 2009 Manual · ICE Physics & Chemistry (2009).

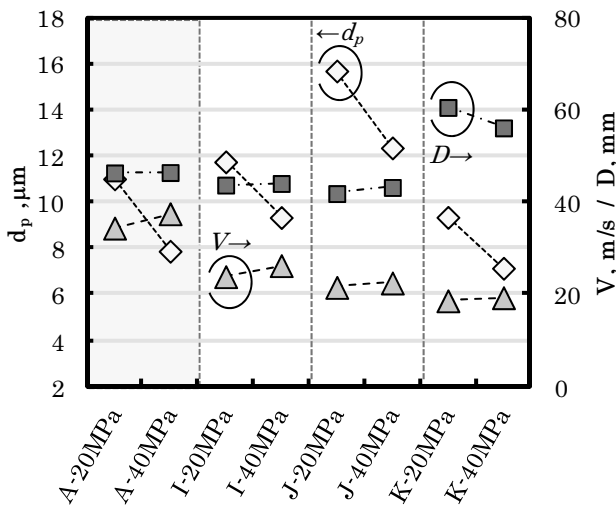


Fig. 11 Spray characteristics (Measurement)

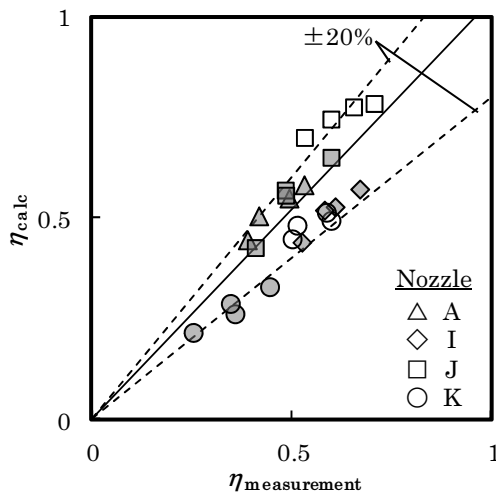


Fig. 12 Comparison of the deposit ratio between measurement and prediction (solid : wall distance = 70mm, blank : wall distance = 50mm)

径 d_p および平均流速 V を求めた。また, 計測面内の粒子数分布から, そのピーク値に対して5%の等高線を噴霧断面形状と定義し, その面積から代表長さ D を算出した。燃料付着率は, 電子天秤に取り付けた平板に噴霧を垂直に衝突させて平板への付着燃料の質量の時間履歴を計測し, 衝突時の付着燃料質量と噴射量の比を燃料付着率とした。ただし, 平板への噴霧衝突時はその衝撃により電子天秤の計測データが大きく乱されるため, データ安定後の付着燃料質量の時間履歴から外挿して衝突時の質量を求めた。また, 実験式中の変数は自由噴霧および壁面衝突噴霧の実測値から算出し直した。図中, 各ノズルとも噴射圧(20MPaと40MPa)と噴射量(30mm³と60mm³)を変化させた4条件をプロットしており, また, 灰色および白抜きのプロットはそれぞれ衝突距離が70mmと50mmの結果である。ややばらつきが大きく予測誤差と測定誤差を含めて約20%程度あるが, 自由噴霧の慣性パラメータから予測した燃焼付着率の傾向は実測値と良く一致しており, 燃料付着に対する噴霧形状, 噴射圧,



増田 糴
(株)豊田中央研究所 熱工学研究部
反応・流体研究室
〒480-1192 愛知県長久手市横道41-1
TEL : 0561-71-7040
FAX : 0561-63-6920
Mail : e1159@mosk.tytlabs.co.jp
略歴 : 1999年 名古屋大学大学院工学研究科博士前期課程修了, 同年(株)豊田中央研究所に入社. 主として燃料挙動の数値解析に関する研究に従事.



河村 清美
(株)豊田中央研究所 熱工学研究部
〒480-1192 愛知県長久手市横道41-1
Tel : 0561-71-7102
Fax : 0561-63-6920
略歴 : 1974年 (株)豊田中央研究所に入社. 1979年名古屋工業大学卒業. 1996年名古屋大学博士(工学)取得. 主として噴霧・混合気特性計測, 燃料噴射ノズルに関する研究に従事.



永岡 真
(株)豊田中央研究所 熱工学研究部
反応・流体研究室 室長
〒458-0015 愛知県長久手市横道41-1
Tel : 0561-63-71-7261
Mail : nagaoka@mosk.tytlabs.co.jp
略歴 : 1986年大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程修了, 同年(株)豊田中央研究所入社. 1993年米国George Mason大学客員研究員. 2008年東京工業大学客員教授, 工学博士. 主として、内燃機関に関わる流れと噴霧・燃焼の数値解析に関する研究に従事.



溝渕 剛史
株式会社デンソー
パワートレインシステム開発部
〒448-8661 愛知県刈谷市昭和町1-1
TEL : 0566-61-4507
Fax : 0566-25-4660
Mail : takeshi_mizobuchi@denso.co.jp
略歴 : 1996年大阪府立大学大学院工学研究科修士課程終了, 同年(株)デンソーに入社.



鈴木久雄
トヨタ自動車(株) エンジン先行技術開発部 主任
〒410-1193 静岡県裾野市御宿1200
Tel : 055-997-9433
Fax : 055-997-7877
Mail : hisao@f3.tec.toyota.co.jp
略歴 : 2008年トヨタ自動車(株)入社.