



直噴ガソリン機関の燃料噴霧の壁面衝突によって形成される液膜の面積と蒸発時間に及ぼす表面粗さ特性の影響

Effect of wall surface roughness properties on surface area and evaporation time of liquid film formed by fuel spray impingement at a direct injection gasoline engine

小林 佳弘*, 堀 弘樹, 新井 雅隆
 (Yoshihiro KOBAYASHI) (Hiroki HORI) (Masataka ARAI)
 東京電機大学 東京電機大学大学院 東京電機大学
 (Tokyo Denki Univ.) (Tokyo Denki Univ.) (Tokyo Denki Univ.)

Spread and evaporation of liquid fuel films on walls of various surface roughness properties (surface roughness Ra and roughness ratio r) were investigated. Liquid fuel of iso-octane was pressurized by N_2 (set at 10 MPa) and then injected from a multi-hole injector of DISI engine. Injected spray was impinging on a wall of aluminum. Wall surface temperature just before spray impingement was controlled by an electric heater (25°C to 110°C). As a result, it was shown that the fuel film area became narrower with an increase of wall surface roughness Ra . Moreover, evaporation lifetime of fuel film became shorter with an increase of roughness ratio r . Under wall temperature condition above the boiling point of fuel, the lifetime also became shorter with an increase of r or Ra .

Keywords: Fuel film, Surface roughness, Roughness ratio, Lifetime, Evaporation time, Spray impingement

1. はじめに

近年、ガソリン機関では高圧縮比や希薄燃焼が望める筒内直噴方式ガソリンエンジンが広く普及しているが、この直噴ガソリンエンジンは粒子状物質 (PM: Particulate Matter) の排出が問題となっている。これは主にコールドスタート時に、インジェクタから噴射された噴霧の一部がピストン頂部やシリンダ壁面に衝突し燃料液膜が形成される場合があるが、この液膜近傍で蒸発した燃料の熱分解等によって、PM が生成されるためである。そのため、燃料液膜の形成を抑制することが求められているが、液膜の形成過程の詳細には不明瞭な点が多い。

燃料液膜に関する研究は多くの研究者によって行われている。例えば大聖ら⁽¹⁾は、高圧定容容器内で圧縮行程および吸気行程に相当する雰囲気圧力および衝突壁面温度でのイソオクタン燃料の噴霧到達距離や壁面への付着量を明らかにしている。また、千田ら⁽²⁾は、イソオクタン燃料とガラスシリンダエンジンを用いて、ピストン頂部付近に形成される拡散火炎の観察とともにピストン頂部に付着した燃料液膜の面積や厚さを測定し、噴射終了後の付着液膜特性を明らかにしている。さらに河原ら⁽³⁾はイソオクタン燃料とフロストガラスのピストンを用いて、ピストン頂部に付着した液膜を観察している。このように、ピストン頂部やシリンダ壁面に形成される液膜の挙動は明らかになりつつある。

近年、シリンダやピストン頂部の表面粗さを鏡面レベルにまで低下させて熱損失を低減する研究が試みられている⁽⁴⁾。また、シリンダ壁面やピストン頂部にデポジットが堆積し表面粗さが変化する場合がある。しかしながら、壁面の表面粗さと PM 排

出の因果関係の基礎となる液膜の形成や蒸発と表面粗さの関係について調べた例は少ない⁽⁵⁾。このような背景の中、著者ら⁽⁶⁾⁽⁸⁾はこれまでイソオクタンの液膜蒸発時間に及ぼす表面粗さの影響を調べてきた。その結果、表面粗さ Ra が増加すると蒸発時間が短くなるという傾向は得られた。しかしながら、 Ra と蒸発時間の関係には大きなばらつきが見られた。これは、算術平均粗さ Ra は表面凹凸の平均高さであるため、同じ Ra でも加工方法等の違いにより壁面の凹凸に沿った表面積が異なり、蒸発時間に差異が生じたためだと推測される。そのため、壁面の凹凸に沿った表面積を表すパラメータである粗化率 r を用いた評価が必要と思われる。

そこで本研究では表面粗さの異なる壁面にイソオクタンの燃料噴霧を衝突させ、25°C~110°C の壁面温度条件下での液膜面積と液膜蒸発時間を測定し、算術平均粗さ Ra に加え粗化率 r も用いて壁面性状と液膜の広がりや蒸発の関係について明らかにすることを目的とした。

2. 実験装置および方法

2.1 実験装置と実験条件

燃料噴霧が壁面に衝突した際に形成される液膜を撮影するための実験装置を図1に示す。本実験装置は燃料タンク、噴射制御装置、直噴ガソリンエンジン用インジェクタ (16450-5A2-A01, DENSO)、燃料噴霧を衝突させる壁面およびハイスピードカメラ (GF-8F, ナックイメージテクノロジー, カメラ傾斜角 30°) によって構成されている。本実験は大気解放場で実施しており燃料タンク内で N_2 により加圧された燃料を壁面に対して垂直に設置されたインジェクタから噴出させ壁面に衝突させたときに形成される液膜の様子をハイスピードカメラによって撮影した。また、衝突壁面の下にプレートが設けてあり壁面とプレート間に設置してあるカートリッジヒータによって壁面を任意の温度に設定 (25°C~200°C) することができる。表1に示すよ

原稿受付: 2023年5月9日

* 責任著者: 正会員, 東京電機大学

(〒120-8551 東京都足立区千住旭町5番)

E-mail: ykoa@mail.dendai.ac.jp

うに供試燃料には純度 99.0wt%のイソオクタン (沸点 99°C, 特級, 富士フィルム和光純薬) を用い, 燃料の噴射圧を $P_{inj} = 10$ MPa とし, 噴射期間を $t_{inj} = 1.5$ ms (噴射量 $M_{inj} = 14$ mg) とした. インジェクタ先端から衝突壁面までの距離は $Z = 30$ mm とし, 噴霧の衝突直前の壁面温度を $T_0 = 25^\circ\text{C}$, 75°C , 90°C (イソオクタンの沸点以下, 図 2^{(9),(10)}), および 110°C (イソオクタンの沸点以上および最大蒸発率点以下) に設定した. なお, 高温の遷移沸騰領域や膜沸騰領域において実験を行えば興味深い知見は得られるものと想像できるが, エンジン内での液膜形成が問題視されるのは主に低温始動時で核沸騰以下の壁面温度であるため, 本研究では上記の温度範囲のみで実験を行った. 噴霧を衝突させるための壁面には縦 100 mm×横 100 mm×厚さ 3 mm のアルミニウム板 (A1050) を用いた. 図 3 に本研究で使用したインジェクタの先端部およびインジェクタから噴射された噴霧の様子を示す. 本研究では噴口径 0.2 mm の 6 孔のインジェクタを使用し, 噴射された噴霧は図中に示されるように広がって壁面に衝突し液膜を形成する.

燃料噴霧の噴射期間と壁面への衝突期間の関係を図 4 に示す. さらに各時刻で観察される液膜の様子も同図中に示す. 図中に示す画像はそれぞれ噴射開始 ($t = 0$ ms), 衝突期間中 ($t = 1.4$ ms), 衝突終了直後 ($t = 3.0$ ms) および噴射終了から長時間経過後 ($t = 16.5$ ms および $t = 31.5$ ms) の画像を示している. 燃料噴射開始のタイミングを $t = 0$ ms とし, インジェクタから噴出した噴霧は $t = 0.5$ ms で壁面に到達する. その後燃料の噴射は $t = 1.5$ ms で終了するが, 燃料噴霧は $t = 2.0$ ms まで壁面に衝突し続ける.

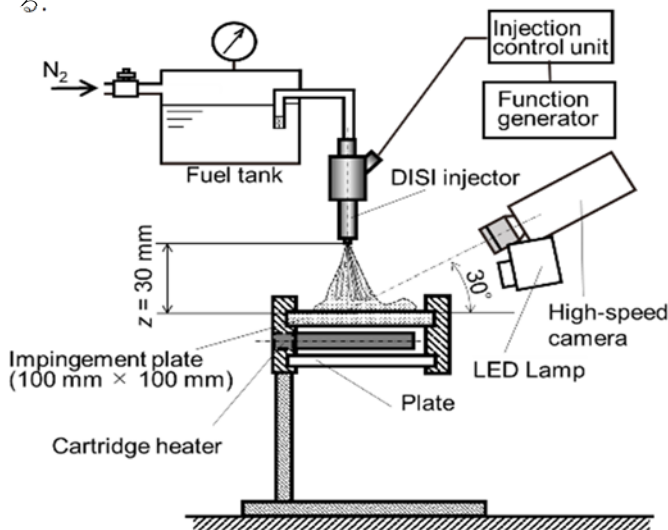


Fig. 1 Experimental setup

Table 1 Experiment condition

Injector conditions	
Injector type	GDI, multi-hole
Diameter of counter bore ϕ [mm]	0.2
Injection conditions	
Fuel	Iso-octane
Injection pressure P_{inj} MPa	10
Ambient pressure P_a MPa	0.1
Injection mass M_{inj} mg	14
Impingement conditions	
Plate material	Aluminum(A1050)
Impingement angle θ deg.	90
Distance between injector and wall Z mm	30
Ambient temperature T_a °C	25
Initial wall surface temperature T_0 °C	25, 50, 75, 90, 110

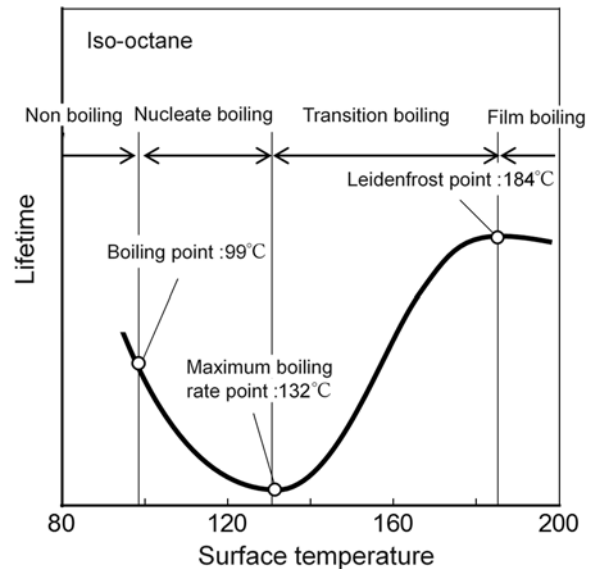


Fig. 2 Example of iso-octane evaporation curve ^{(9),(10)}

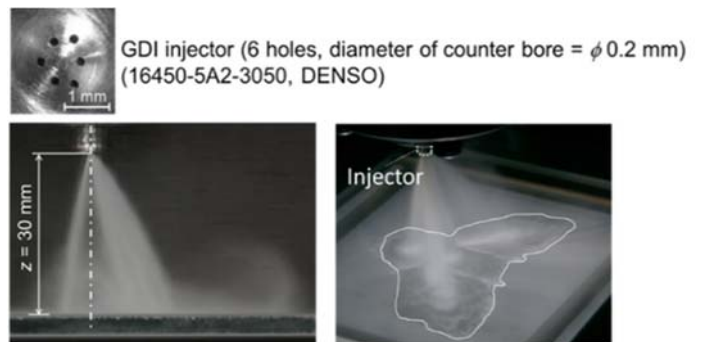


Fig. 3 Injector tip and wall impingement spray

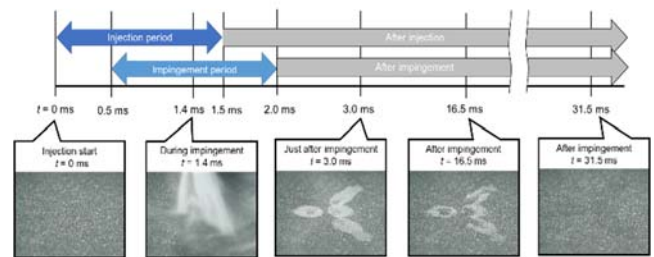
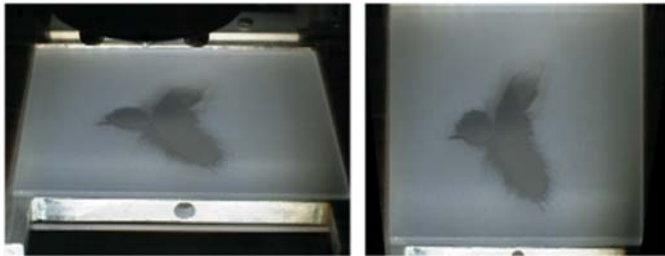


Fig. 4 Temporal relationship among injection start, impingement duration on the wall, injection end and impingement end

2.2 液膜面積の測定方法

著者らは既報⁽⁶⁾において, 半透明のすり石英ガラス上に燃料噴射し形成された液膜をガラス背面から撮影することで壁面に付着した液膜を測る手法を提案し, 液膜面積を測定してきた. しかしながら, アルミニウム板を衝突壁面として用いる場合, 背面側から液膜面積の測定を行うことができないため, 図 4 に示すように表面側から撮影する必要がある. 表面側から撮影する場合, 本実験ではハイスピードカメラを壁面に対して 30°傾けているため, 図 5 (a) に示すように, 撮影された液膜は奥行きのある 3 次元的な画像となる. そのため図 5 (b) に示すように画像処理によって補正し, 補正後の画像より各時刻の液膜面積

を求めた。 $Ra = 2.01 \mu\text{m}$ の石英ガラスを用いて背面から撮影した場合と表面から撮影した場合の液膜面積の測定結果の例を図6に示す。図6に示すように、液膜面積はどの壁面温度においてもほぼ一致しているため、本研究で用いた液膜面積の測定方法に大きな問題はないと考えられる。また、ここで言う液膜面積とは壁面上から観察した際の液膜の投影面積（見かけの面積）を表し、壁面上の凹凸に沿った実面積ではない。



(a) Direct photograph (b) After correction
Fig. 5 Correction of liquid film image

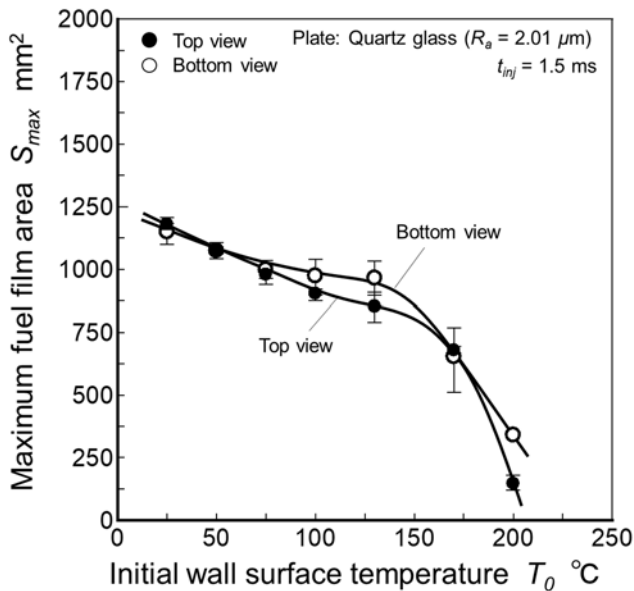


Fig. 6 Fuel film areas measured from top and bottom views ⁽⁶⁾

2.3 液膜付着量の測定方法

本研究では液膜面積に加え付着量の測定も行った。燃料噴霧が壁面に衝突した際の燃料付着量を測定するための装置について図7に示す。燃料付着量の測定には電子天秤を衝突壁面の下に設置し、壁面に向けて燃料噴霧を衝突させ測定した。なお、付着量測定は高温壁面での実施は困難であったため常温壁面の場合のみ実施した。また、噴霧衝突後に電子天秤の表示が安定したときの値（衝突後からおよそ1秒後、常温のため1秒程度ではほとんど蒸発しない）を付着量とした。

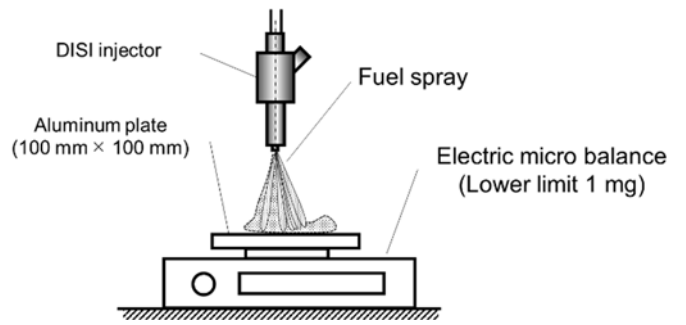
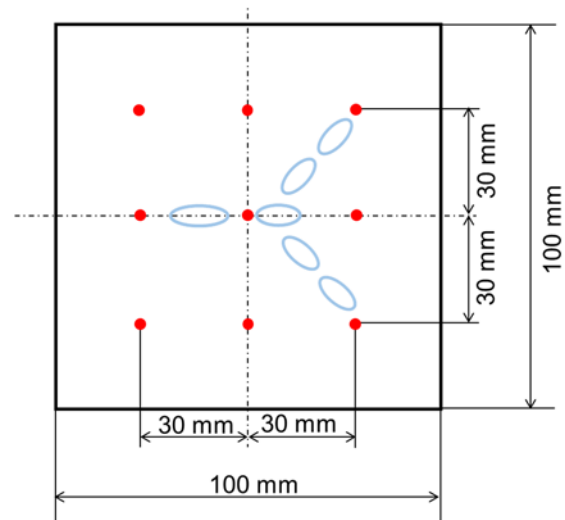


Fig.7 Experimental setup to measure fuel adhered mass

2.4 アルミニウム壁面の表面性状

壁面の表面粗さは Ra (算術平均粗さ) を用いて表すのが一般的である。ただし、 Ra は表面凹凸の平均高さであるため、同じ Ra であっても表面性状が異なる場合がある。そこで、本研究では Ra に加えて r (粗化率) を評価のパラメータとした。粗化率は以下の式 (1) によって表され、壁面の投影面積と表面凹凸に沿った実表面積の比としている。なお、 Ra や r の測定にはレーザー顕微鏡 (VK-X100 Keyence) を使用し、図8に示すように燃料噴霧の衝突点を囲うように壁面上の9点 (各点の測定面積 $1.4\text{mm} \times 1.1\text{mm}$) で測定を行い、その平均値を代表値とした。

$$r = \frac{\text{Actual surface area}}{\text{Projected solid surface area}} \quad (1)$$



- : Measurement point of surface roughness
- : Footprint of fuel spray

Fig. 8 Measurement points of surface roughness

本研究では圧延工程を経て作成されたアルミ板 (Non-polishing), 研磨剤により表面を研磨したアルミ板 (Compound polishing), HL 研磨を施したアルミ板 (Hairline polishing), サンドペーパーにより表面研磨を施したアルミ板 (Sand polishing) およびブラスト加工を施したアルミ板 (Blasting) を、噴霧の衝突する壁面として用いた。それぞれ壁面の表面粗さ Ra と r の関係を図9に示す。ここで粗化率 r は1以上の値となるため、図中に示す r (縦軸) は1を起点として示している。図9から、

全体的に Ra の増加に伴って r が増加する傾向である。また、図中のプロットは概ね式 (2) の関係となり、ここで用意したアルミ板は傾き α がおよそ $0.3\mu\text{m}^{-1}$, $0.6\mu\text{m}^{-1}$ および $0.9\mu\text{m}^{-1}$ の三つのグループに分けられる。また、 Ra が同じで r が異なる壁面や逆に r が同じで Ra が異なる壁面があることがわかる。

$$r = \alpha \times Ra + 1 \quad (2)$$

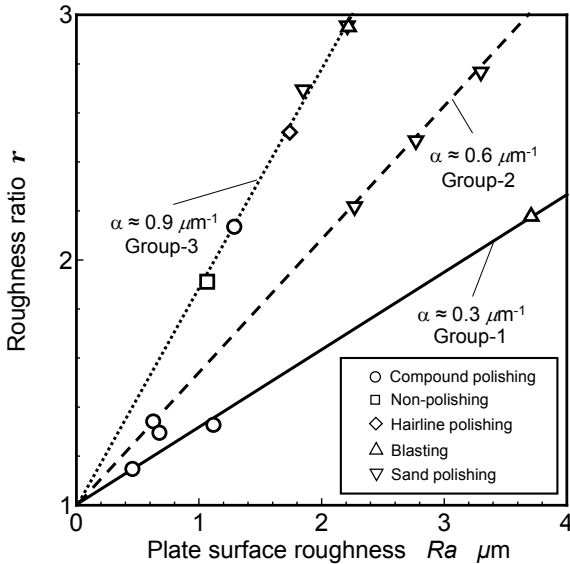


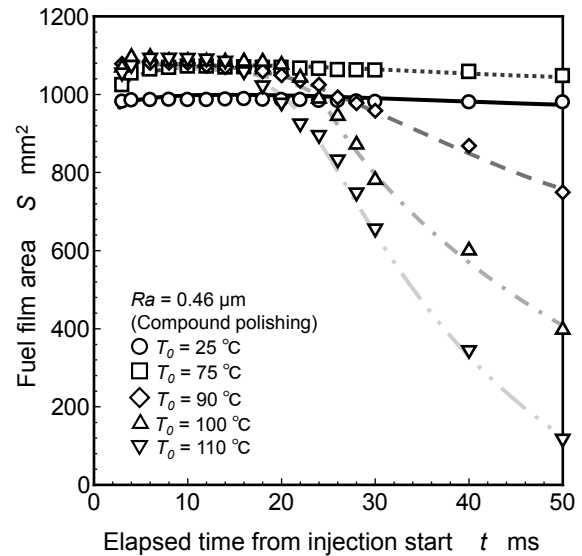
Fig. 9 Relationship between surface roughness and roughness ratio

3. 実験結果および考察

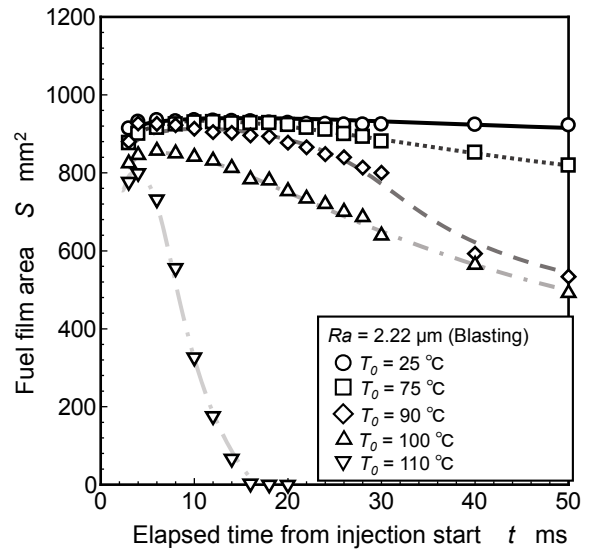
3.1 表面粗さと液膜面積

$T_0 = 25^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ の各温度で保温してあるアルミニウム壁面に燃料噴霧を衝突させた場合に、壁面上に形成される液膜の経過時間毎の液膜面積の測定を行った。 $Ra = 0.46\mu\text{m}$ (Compound polishing) および $Ra = 2.22\mu\text{m}$ (Blasting) の壁面に対して噴霧を衝突させた場合の結果を図 10 に示す。ここで、図の横軸は燃料の噴射開始時刻からの経過時間としている。なお、燃料噴射期間中は液膜の判別が困難なため、図中には噴射開始から 3 ms 以降の結果を示している。

図 10 (a) に示す $Ra = 0.46\mu\text{m}$ の結果から、噴霧の壁面衝突終了直後の $t = 3.0\text{ ms}$ からおよそ 5 ms の期間で液膜は広がり僅かに液膜面積は増加し、その後蒸発によって時間経過とともに液膜面積が減少した。また、当然高温壁面になるほど蒸発による液膜面積の減少は顕著になった。図 10 (b) に示す $Ra = 2.22\mu\text{m}$ の場合も同様の傾向が見られた。しかし、噴射終了後の最も液膜が広がったときの面積 (最大液膜面積) は図 10 (a) の場合よりも小さく、蒸発による面積減少は図 10 (a) の場合よりも顕著であった。



(a) $Ra = 0.46\mu\text{m}$



(b) $Ra = 2.22\mu\text{m}$

Fig. 10 Fuel film area change with elapsed time

壁面の Ra および r による液膜の広がりへの影響を調べるため、ほぼ同じ Ra で r が異なる壁面間で、噴霧衝突前の壁面温度と最大液膜面積の関係を比較した。得られた結果を図 11 に示す。ここでの最大液膜面積は噴霧の壁面衝突終了直後の $t = 3.0\text{ ms}$ から $t = 50\text{ ms}$ 間で測定した液膜面積の最大値としている。

図 11 に示すように Ra がおよそ $1.1\mu\text{m}$ かつ r が 1.33 と 1.91 の場合を見ると、壁面温度によって最大液膜面積は変化するが、 r が異なっても最大液膜面積はほぼ等しいことがわかる。さらに Ra がおよそ $2.2\mu\text{m}$ かつ r が 2.22 と 2.95 の場合も同様に r に依存しない結果となった。このことから、液膜の広がりには粗化率 r はほとんど影響を及ぼさないことがわかる。また、どの壁面温度の場合でも Ra がおよそ $1.1\mu\text{m}$ の滑らかな壁面の方が粗い壁面であるおよそ $2.2\mu\text{m}$ の場合よりも液膜面積が大きく、 Ra によって液膜の広がりが異なることがわかる。これは Ra が大きいと表面凹凸が大きくなり液膜の流動が抑制されるためであると考えられる。

さらに、 Ra がおよそ $1.1\mu\text{m}$ の壁面では、 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ からおよ

そ $T_0=90^\circ\text{C}$ の範囲で壁面温度の上昇とともに徐々に最大液膜面積が増加する傾向となった。これは壁面温度が高温になるにつれて壁面上で加熱されたイソオクタン粘度が下がり流動性が高くなるため、常温の場合よりも最大液膜面積が大きくなったと考えられる。 $T_0=90^\circ\text{C}$ 以上では最大液膜面積が減少するが、これは液膜が広がる前に蒸発が進行するためであると考えられる。一方、 Ra がおよそ $2.2\mu\text{m}$ の壁面の場合では壁面温度が増加するにつれて最大液膜面積が徐々に減少していき、およそ $T_0=90^\circ\text{C}$ 以降で急激に減少する結果となった。表面が粗い場合では燃料の粘性低下による流動性の増加よりも固液海面の摩擦抵抗の増加や平面凹凸による流動の抑制の影響が大きく、このような結果となったと考えられる。

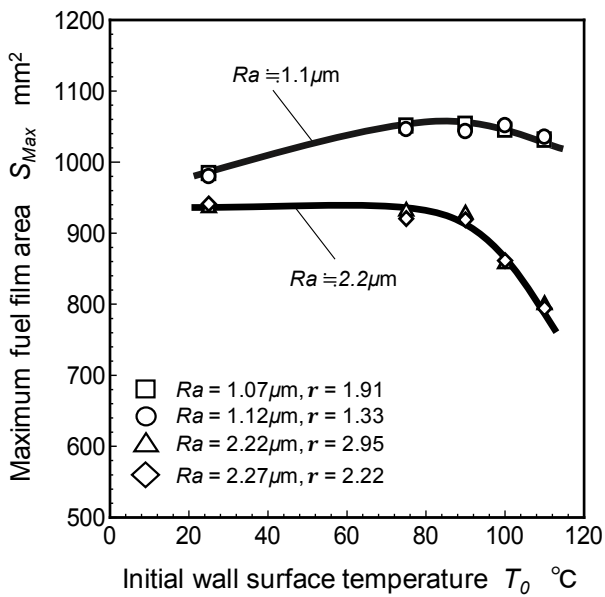


Fig. 11 Relationship between maximum fuel film area and surface temperature under various Ra and r conditions

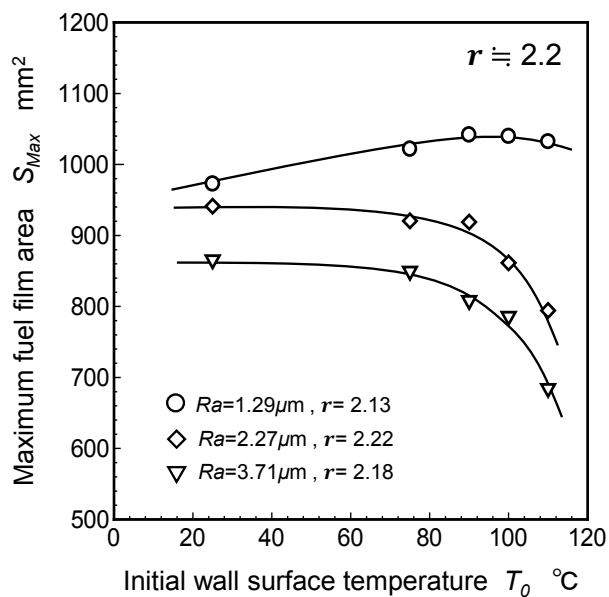


Fig. 12 Relationship between maximum fuel film area and surface temperature under various Ra but same r conditions

次に先の図の場合とは逆にほぼ同じ粗化率 r で Ra が異なる壁面間 (r がおよそ 2.2 で Ra は $1.29\mu\text{m}$, $2.27\mu\text{m}$ および $3.71\mu\text{m}$) で最大液膜面積の比較を行った。得られた結果を図 12 に示す。図 12 の結果から、ほぼ同じ r であっても Ra が異なれば液膜面積は異なることがわかる。また、 Ra が粗くなるほど液膜面積が減少していく傾向が見られ、 Ra の増加によって表面凹凸高さが大きくなることで固液海面の摩擦抵抗の増加などによって液膜の流動が抑制され、最大液膜面積が小さくなっていく結果となったと思われる。

図 11 および図 12 結果から、液膜の広がりには Ra が粗くなるほど抑制されるが、粗化率 r は液膜の広がりに対して関連する Ra 以上の影響は及ぼしていないことがわかった。

3.2 表面粗さと付着量

本研究では図 7 で示した方法により表面粗さごとの燃料の付着量を求めた。ただし本測定は高温壁面での実施が困難であり $T_0=25^\circ\text{C}$ のみ実施した。得られた結果を図 13 に示す。

図に示すように燃料付着量は Ra の値によらずほぼ一定であった。また、噴射量 14mg に対して付着量はおよそ 10mg であり、噴射量のおよそ $2/3$ の燃料が壁面に付着していた。なお、Luo ら⁽⁶⁾ も 2 種類の表面粗さの壁面 ($Ra = 2.5\mu\text{m}$ および $7.7\mu\text{m}$) に燃料噴霧を衝突させた際の燃料付着量を求め、 $Ra = 7.7\mu\text{m}$ の方が $Ra = 2.5\mu\text{m}$ よりも付着量が多いという結果を示しているが、その差はごく僅かであることを報告している。

図 13 の結果と図 11 および 12 で述べたように Ra が大きくなるほど液膜面積は小さくなる結果から、衝突壁面の Ra が増すほど厚い液膜が形成されていくと推測される。なお、付着量を最大液膜面積とイソオクタンの密度 (690 mg/cm^3 , 20°C , 1 atm) で除することで簡易的に膜厚を求めてみると、 $Ra = 1.29\mu\text{m}$ の壁面の場合でおよそ $14\mu\text{m}$ 、 $Ra = 3.71\mu\text{m}$ の場合でおよそ $17\mu\text{m}$ であった。

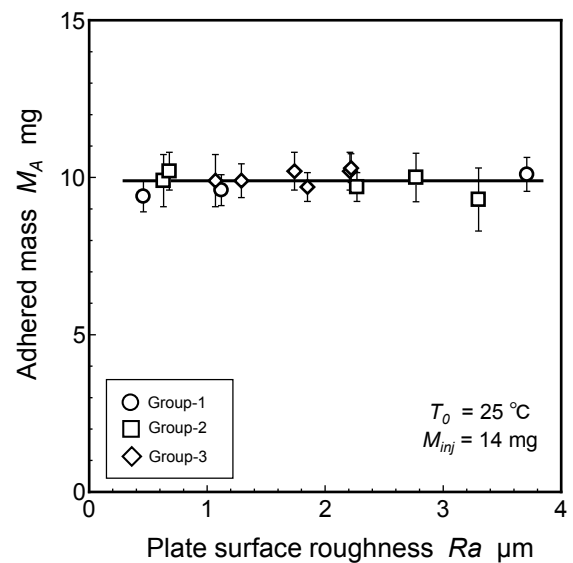


Fig. 13 Relationship between surface roughness and adhered mass

3.3 表面粗さと液膜蒸発時間

各壁面温度における Ra と液膜蒸発時間の関係を図 14 に示す。なお、ここでの液膜蒸発時間とは燃料噴霧の壁面衝突終了時 ($t = 2.0 \text{ ms}$) から壁面上の液膜の蒸発が完了し観察されなくなるまでの時間としている。

図 14 の結果から、 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ではどの Ra の壁面でも蒸発時間はおよそ 20 sec であり、 Ra の大きい壁面になるほどわずかに蒸発時間は短くなった。 $T_0 = 50^\circ\text{C}$ の場合では全体的に蒸発時間は $T_0 = 25^\circ\text{C}$ の場合よりも短くなり、 Ra が大きくなるほど蒸発時間は減少する傾向が見られた。さらに $T_0 = 90^\circ\text{C}$ の場合では Ra の大きい壁面ほど蒸発時間は明らかに短くなった。沸騰領域の $T_0 = 110^\circ\text{C}$ の場合も同様に Ra の増加とともに蒸発時間は減少していく傾向であり、その傾向は低温の壁面に比べて顕著であった。このように Ra が大きくなるほど蒸発時間は短くなる傾向を示し、また壁面温度が高温になるほど蒸発時間の減少が顕著になっていくことがわかった。

壁面温度が最も低い $T_0 = 25^\circ\text{C}$ の場合や $T_0 = 50^\circ\text{C}$ の場合では比較的データの分散は小さいが、高温壁面の $T_0 = 90^\circ\text{C}$ や 110°C ではデータの分散が大きかった。 $T_0 = 90^\circ\text{C}$ および 110°C について、図 9 で示した Ra と r のグラフの傾き α によるグループごとに近似線を引いてみると、図中に示すようにグループごとに整理することができた。グループ 1 ($\alpha \approx 0.3 \mu\text{m}^{-1}$) は最も蒸発時間が長くグループ 3 ($\alpha \approx 0.9 \mu\text{m}^{-1}$) が最も蒸発時間が短く、グループ 2 ($\alpha \approx 0.6 \mu\text{m}^{-1}$) がそれらの間となっていて、液膜の蒸発時間は Ra と r の関係によって整理できる。さらに言えば、同じ Ra の場合では傾き α の値が高いグループ、すなわち同じ Ra に対して r の値が高いほど蒸発時間が短くなっている。これは Ra が同じ場合でも r の値が大きいほうが液膜と壁面の凹凸を考慮した接触面積が大きくなるので壁面から液膜の伝熱量が大きくなるため蒸発時間が短くなったと考えられる。

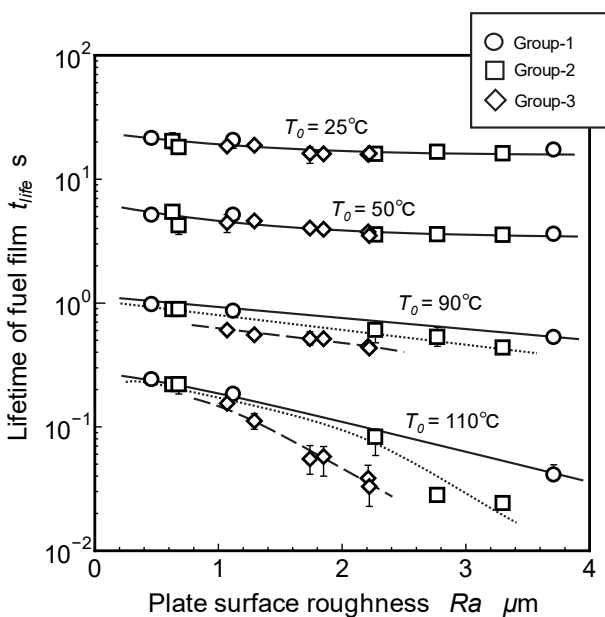


Fig. 14 Relationship between Ra and lifetime of fuel film

次に各壁面温度における r と液膜蒸発時間の関係を図 15 に示す。イソオクタン沸点温度以下の $T_0 = 25^\circ\text{C} \sim 90^\circ\text{C}$ において、

図に示すように図 9 で定義したグループによらず液膜蒸発時間は、ほぼ同一線上に乗っていて、さらに r と蒸発時間はほぼ線形の関係になっている。このことから、燃料の沸点以下では液膜の蒸発時間は粗化率 r に強く影響を受けることがわかる。これは粗化率 r が大きくなる、すなわち液膜と壁面の接触面積が増加すると、壁面からの伝熱量が接触面積に比例して増え蒸発時間が減少いくためと考えられる。

しかしながら、沸騰領域の $T_0 = 110^\circ\text{C}$ の場合では同一線上には乗らず図 9 で示したグループごとに分かれ、 α が小さくなるほど蒸発時間が短くなっている。これは同一の粗化率 r で比べた場合、 Ra が大きくなるほど蒸発時間が短くなるということである。図 13 で示したように液膜の付着量は Ra や r によらず一定であり、また図 12 で示したように r が同じ場合では Ra が大きくなるほど液膜の投影面積 (見かけの付着面積) は小さくなるため Ra が大きいほうが厚い液膜となり、液膜と壁面の接触面積は小さくなる。それにも関わらず Ra が大きくなるほど蒸発時間が短くなるという結果となったが、これは Ra が大きくなるほど核沸騰が促進されたことによるものと思われる。ここで、 $Ra = 1.5 \mu\text{m}$ と $15 \mu\text{m}$ の壁面での核沸騰中の気泡核について調べた研究例⁽¹¹⁾によると、 Ra が大きい壁面の方が単位面積当たりの気泡の空間離脱周波数が多くなることが示されている。このことから、液膜との接触面の微小なキャビティで生じる気泡核の数は表面粗さの増大と共に増加し、結果として壁面からの熱流束が増加すると推測できる。ただし気泡核は表面粗さなどによって影響をうけるものの Ra に対して比例的に増加するとは限らないため注意が必要であり、今後より詳細な解析が必要である。

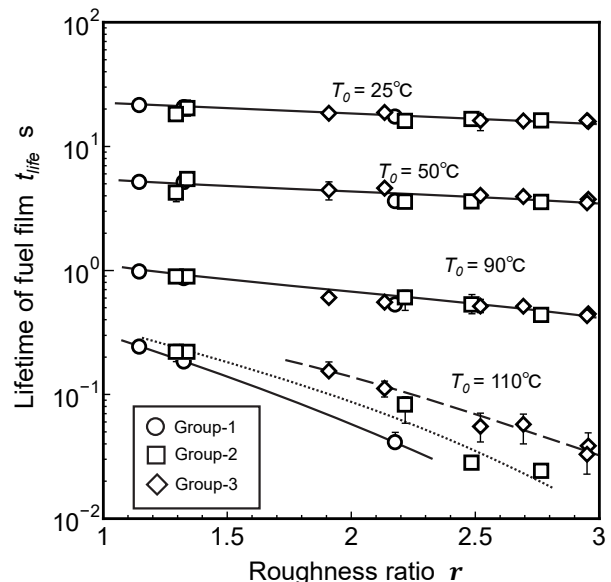


Fig. 15 Relationship between r and lifetime of fuel film

4. おわりに

直噴ガソリンインジェクタを用いて、非沸騰領域から沸騰領域での表面粗さが異なるアルミニウム壁面に噴霧を衝突させた際に形成される液膜の面積および蒸発時間を測定した。得られた結果を以下に示す。

- (1) Ra が大きい壁面ほど液膜面積は小さくなり液膜の広がりを抑制する。そして液膜の広がりには粗化率 r はほとんど影響を及ぼさない。
- (2) どの壁面温度においても粗化率 r が大きくなるほど蒸発時間は短くなる。また壁面温度が燃料の沸点以上の場合では、同じ r で比べると Ra が大きくなるほど蒸発時間が短くなる。

面の表面粗さが各沸騰熱伝達へ与える影響, JSAE Engine Review, Vol.12, No.7, (2022)

謝 辞

本研究は“日本液体微粒化学会 微粒化研究促進助成 No. 2019-01”の助成を受けて実施された。ここに感謝の意を表す。

文 献

- (1) 深澤紘大, 藤間浩平, シュウベイニ, 草鹿仁, 大聖泰弘, 高林徹: 筒内に直接噴射された燃料噴霧の壁面衝突と燃焼特性, 内燃機関シンポジウム講演論文集, 24 巻, (2013).
- (2) 千田二郎, 大西昌紀, 宇都宮敦司, 若田部道生, 藤本元: 壁面に衝突するガソリン噴霧の付着液膜計測, 自動車技術会論文集, Vol.30, No.1, (1999), 33-39.
- (3) N. Kawahara, M. Inoue, E and E. Tomita: Visualization of fuel impingement on the piston top in a DISI engine, Proc. Of 13th International Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ICLASS), (Tainan, Taiwan), B1-1-041, (2015).
- (4) F. Kawaharazuka, N. Uchida and H. Osada: A Novel Piston Insulation Technique to Simultaneously Improve Both Heat Loss and Thermal Efficiency for Diesel Engines, SAE Technical Paper 2021-01-0453, (2021).
- (5) H. Luo, S. Uchitomi, K. Nishida, Y. Ogata, W. Zhang, T. Fujiwara: Experimental Investigation on Fuel Film Formation by Spray Impingement on Flat Walls with Different Surface Roughness, Atomization and sprays, (2017), 611-628.
- (6) 小室佳生, 粕谷祐太朗, 小林佳弘, 新井雅隆: 燃料噴霧が壁面に衝突した際に形成される液膜の挙動 - 壁面の表面粗さや熱伝達率の影響 -, 自動車技術会論文集, Vol.51, No.5, (2020), 875-881.
- (7) Y. Kobayashi, Y. Kasuya, H. Hori, M. Arai: Relationship between wall surface roughness and fuel film evaporation for spray impingement, The 10th International Conference on Modeling and Diagnostics for Advanced Engine Systems (COMODIA 2022), (2022).
- (8) Y. Komuro, Y. Kobayashi, M. Arai: Film formation and wall temperature drop by spray impingement on a wall, 20th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems (ILASS), (2019).
- (9) 三塚正志, 福田敬爾: 高温金属を水冷するときの冷却曲線における遷移沸騰および特性温度に関する研究, 鉄と鋼, Vol.60, No.14, (1974), 2079-2084
- (10) 田村善助: 高温面に接触する液体の蒸発と燃焼に関する研究, 日立評論, Vol.42, No.5, (1960), 601-606
- (11) 中村駆, 一柳満久, 鈴木隆: L L C の流動特性および加熱