噴霧火炎中のすす濃度分布と 低減法について*

(水噴射による効果)

西 田 修 身**

On the Soot Concentration Profile and Method
of Soot Control in the Spray Jet Flames
(Effect of Water Jet)

By Osami Nishida

The research is started with the object of finding the factors that influence soot formation by the temperature reduction in the flame, when added water is changed under the condition of the fixed spray quantity of kerosine, flame shape and size.

It observe how soot concentration is governed by the low temperature reactions arising from atomized water, and at the same time measured the temperature distribution and the concentration of various gas species, to jet fuel (kerosine) from the inner tube and water from the outside tube respectively and make a jet burner with air.

Finally, the suppression of soot formation occurs mainly in the region of the nozzle neighborhood, suggesting that low temperature pyrolysis reactions are the dominating reason.

1. ま え が き

液体燃料を微粒化して燃焼する火炎は一般に広く用いられている。この種、火炎の全体的な構造解析および NO_x 等の汚染物質の発生および低減に関する研究は種々行われてきた。しかし、すすの生成・分解状態および低減法についての研究例は数少ない。基礎的な研究としては単一液滴での実験^{1,2,3)}があり、実用面に関する研究としては、種々の燃料を用いて、噴霧状況(例えば、噴霧圧力)に対するすす排出量に及ぼす影響等について試みられている^{4,5)}が、滴径分布の差異または空気との混合状態の影響等との関係について詳細に検討されていない。

更に、低減法としては、アルカリ系金属の添加⁶⁾、乳化燃料の適用^{7,8)}および空気の強制的な誘入法等があるが、十分に系統だてて説明する段階に達していない。特に、液体燃料の場合は液滴群の分布が著しく影響するため、どのような作用因子が低減効果に寄与しているかは判断しがたい。

本報では火炎温度を低下させるために水噴射を伴っても、油滴分布状態が著しく異ならない状況下で、すすの生成・分解量および火炎末端濃度にどの程度影響を及ぼ

すかを議論することを目的とする。

そこで、プロパン・空気系の拡散火炎で窒素を予混合した場合の実験⁹⁾をもとにして、空気噴霧式バーナで、水噴射量を段階的に変えることによって、火炎中の局所的なすす量分布を精度よく測定すると共に、各種の安定化学種濃度および温度履歴を有機的に結合させることにより、すすの生成・分解過程および低減効果の状況を検討した。

2. 実験装置および測定方法

2.1 実験装置 実験装置の概略を図1に示した。燃料の灯油(分子式で $\text{C}_{12}\text{H}_{26}$ とする)および水は別々のタンクより供給し、微粒化用空気により噴霧する。各々の流量はタンク上層部への空気圧によって調節し、細管流量計で所定の流量を得た。燃焼用空気はブロワーからの強制通風により供給し、標準オリフィスにて流量を設定した。燃焼炉は内径 $\phi 171\text{ mm}$ 、高さ 1000 mm の透明パイレックスガラスを用いた。使用したノズルは図2に示すように、内径 $\phi 0.5\text{ mm}$ のステンレス管より灯油を、その外周から水道水を噴出させるようになっている。ノズルキャップは直径 $\phi 40\text{ mm}$ の平面とし、中心に $\phi 2.0\text{ mm}$ の単孔を設けた。

パイロットフレームには都市ガス(2.9 l/min)を用いた。

* 原稿受付 昭和55年1月25日

昭和54年秋季学術講演(昭和54年10月25日)

** 正会員 神戸商船大学(神戸市東灘区深江南町5-1-1)

図1 全体装置の概略

図2 ノズル詳細

2.2 測定方法

(1) すすの捕集 すす捕集装置は図3に示す。捕集部分は内径 $\phi 5.0$ mm、長さ 58 mm のパイレックスガラス製のピースで、グラスウールをつめ、吸入管(ステン

レス製)の先端に取り付ける。吸入口は $\phi 2.0$ mm で、すす粒子の落下を防ぐために、セル形の導入管を内装した。捕集器全体を 90°C に加熱した 90 番タービン油を循環した。なお、火炎が一定の状態に設定されるまで、吸入部にセラミック製のキャップをした。

図4は実験に先立って、すす吸引時のグラスウール内の温度を、種々の吸引速度のもとで、15分間連続吸引した場合の温度変化である。図より、約 $10\sim 15^\circ\text{C}$ 程度の変化であった。この程度の温度変位では吸引したすす粒子に有意な影響をおよぼさない。

すす捕集順序は図5に示すように、まず、予備捕集として、火炎の任意の位置に挿入し、約 2 l のガスを吸引し、

ピースに付着した水分や未燃油滴を除去するために、図6に示すような恒温槽を用いて、 160°C 一定で3時間加熱した。その後、デシケータに移し約1時間放冷・乾燥して、秤量した値を初期重量とした。本捕集としては吸引速度 4 m/sec 一定のもと

図3 すす捕集装置

図8 滴分布状態

火炎の視認による観察によると、水噴射なしでは全体の長さはほぼ 350 mm 程度で火炎中程の幅は約 50 mm で著しく輝炎を呈する。しかし、50 vol % 水噴射をすると輝度が著しく低下し、赤茶色の火炎となり、若干不安定になる。更に、水噴射量を灯油量と等しくすると、火炎全体が薄赤茶色になる。しかし、火炎の形状はほとんど変らなかった。

3.2 火炎中でのすす濃度分布(火炎断面)

灯油のみの火炎でノズル口から 100, 200, 300 mm 位置

図9 ノズルより 100 mm 位置

での半径方向について、各種安定化学種のガス組成濃度、温度およびすす重量濃度の測定結果を図 9, 10, 11 に示す。

100 mm 位置を示した図 9 (a), (b) より、CO, CO₂ 量および温度分布はシャープな鞍形分布を、H₂ および未燃炭化水素量は全般にガウス分布を示す。中心付近でガス化した種々の未燃安定化学種が半径方向に拡散しながら熱分解(クラッキング)を行うため、すす生成が盛んであるが、火炎面近傍(最高温度位置)では酸素の誘入にとまって分解(再燃焼)が盛んである。ゆえにすす濃度分布は鞍形分布を示し、ピーク位置は火炎面より若干内側に存在する。

図 10 (a), (b) の 200 mm 位置では CO, CO₂ および温度分布のすべてがガウス分布を示している。100 mm 位置に比べ、中心付近での未燃炭化水素量の低下が著しく、二

次空気誘入が活発なため、酸素濃度はフラットに近づく。

この位置では全般にすす量が低レベルにあり、ガウス分布を呈する。

図 11 (a), (b) は 300 mm 位置の結果である。未燃炭化水素がすべて消滅し、二次空気誘入にとまって、酸素量が増加するため、すすの燃焼消滅が著しいと共に拡散して、全体に低レベルになる。

3.3 水噴射による低減効果 火炎の温度変化が

図10 ノズルより200 mm位置

図11 ノズルより300 mm位置

すすの生成・分解過程にどのような影響を及ぼすかを、火炎中心軸方向について、ガス分析値と関連づけながらのべる。図12は水噴射量を変えた場合の温度分布を示す。図よりすべての温度ピーク位置はノズルから200 mm付近にある。水噴射量を増加すると70~170℃程度

図12 温度分布

の温度差で全体のレベルが低下する。

図13は安定化学種の各種組成濃度分布を示したものであり、(a)図は灯油のみの場合、(b)図は同量の水噴射をした場合の結果である。灯油のみではノズル先端から200 mm付近までは H_2 、 CO および未燃の炭化水素が多量に析出されているが、水噴射をすることによって、 H_2 が100 mm近傍で高濃度を示す以外はすべて低濃度になる。

また、両火炎とも酸素濃度は150 mm付近で最も低くなる。

すす重量濃度分布を示したのが図14である。すべての分布はノズル先端から生成量が著しく150 mm付近でピーク値に達し、それ以降は著しく分解する。ピーク位置は温度ピーク位置より約50 mm上流側である。また、150 mmより上流側の生成領域においては CO 、 H_2 および未燃の炭化水素が多量に析出している。

水噴射をすることによって、全体のレベルを著しく抑制することができ、生成領域においては水噴射量による低減効果の違いが現れているが、分解領域では顕著な差

(a) 水噴射なしの場合

(b) 水噴射した場合 (100 vol%)

図 13 ガス分析結果

図 14 すす重量濃度分布

が現れていない。それは 150 mm 後流での温度差がきん少であることと、各種ガス組成濃度分布に大きな違いがないことに起因している。

4. 結論とその検討

すす濃度低減の一方法として、水噴射による火炎内の温度低下が、最終的な排出量にどのような影響を及ぼすかを概括的に要約すると、次のようになる。

すす生成領域において、水噴射量が増すほど抑制効果が著しく、ピーク値濃度が低くなるため、最終的な火炎末端濃度は著しく低下する。ゆえに生成過程でのすす量分布が非常に大きな影響を及ぼす。

火炎上流域での生成量が抑制される原因としては、 CO 、 H_2 量が全般に低くなることより、 $\text{CO} + \text{H}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{C}$ 、 $2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$ なる反応が左から右に進みにくく、炭素の析出が低下する。また、 $\text{C} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO} + \text{H}_2$ なる水性ガス反応も部分的に考えられるが、本結果から明らかにいえることは、水噴射によって温度がさがりため、熱分解反応が阻止されることに起因している。

以上のような作用が有機的に影響していると思われる。終わりに、すす捕集法に有益な御助言を頂きました大阪大学高城敏美先生に深く感謝いたします。

文 献

- 1) 角田・ほか 2 名, 機論, 43-374 (昭 52-10), 3883.
- 2) 前田・岡島, 機講論, No. 794-6 (昭 54-3), 12.
- 3) 中西・ほか 2 名, 第 16 回燃焼シンポジウム前刷集, (昭 53-12), 126.
- 4) Prado, G. P., ほか 4 名, Sixteenth Symposium (International) on Combustion, (1976), 649.
- 5) 新井・ほか 3 名, 第 16 回燃焼シンポジウム前刷集, (昭 53-12), 137.
- 6) Jenkins, D. R., Combustion Science and Technology, vol. 5 (1972), 245.
- 7) 岩間・ほか 2 名, 燃料協会誌, 58-626 (1979), 432.
- 8) 渡辺, 燃料及燃焼, 46-10 (1979), 27.
- 9) 西田, 機講論, No. 790-16 (1979), 254.