

微小重力下における炭素微粒子生成挙動および計測に関する検討 ～微小重力環境を利用した材料気相合成・気相燃焼研究チーム活動事例

伊東弘行¹, 藤田 修¹, 菊池政雄², 奥山正明³, 小林秀昭⁴, 神原信志⁵

1: 北海道大学, 2: 宇宙航空研究開発機構, 3: 山形大学, 4: 東北大学, 5: 岐阜大学

Research on Fine Carbon Particle Formation and Measurement under Microgravity

-Activity Report of Gas Phase Combustion and Material Synthesis Research Team

Hiroyuki Ito¹, Osamu Fujita¹, Masao Kikuchi², Masaaki Okuyama³, Hideaki Kobayashi⁴, Shinji Kambara⁵

1:Hokkaido University, 2:JAXA, 3:Yamagata University, 4:Tohoku University, 5:Gifu University

E-Mail: itohiro@eng.hokudai.ac.jp

Abstract: Non-intrusive measurement techniques of soot and PAH (Poly-cyclic Aromatic Hydrocarbon) have been surveyed to investigate the soot formation mechanism in flame under microgravity. The results of microgravity experiment on soot formation in the ethylene diffusion flame are also introduced.

Key words; Microgravity, Soot Particle, PAH, Combustion, Synthesis

1. はじめに

気相燃焼場は、高温および燃料の燃焼過程で生じるラジカルやイオンを含めた熱分解成分が多く存在し、これらを利用した材料合成の場としての可能性を有している。またススなどの望まれない有害物質を排出する場でもあることから、これら燃焼生成物の排出や合成材料の特性をコントロールすることが強く望まれている。気相燃焼により合成される微粒子の特性には、自然対流などの流れの条件が大きく影響する。すなわち燃料や酸化剤の供給、燃焼ガスの排出が流れの影響を受けて場の温度や化学種濃度分布が変化し、また流速分布の変化により火炎中の微粒子の滞留時間が変化するとともに微粒子同士の衝突・合体頻度も変化し、微粒子の組成、直径、凝集度などが異なってくる。地上における燃焼材料合成では火炎まわりに生じる自然対流が流れに支配的となり、メカニズムの理解を妨げるとともに、微粒子合成条件を外的にコントロールすることを非常に困難にしている。一方、微小重力環境下では自然対流が生じないため、燃焼合成場においては微粒子合成過程のコントロールが容易になると考えられる。

本研究チームでは、気相燃焼現象のメカニズム解明、および気相燃焼合成における微粒子生成をコントロールする手法について調査・検討を行い、これらの中からとくに微小重力の利用が効果的な課題を抽出して ISS 多目的ラック(燃焼実験装置)を想定した実験課題を創出することを目的としている。今年度は、昨年度に続き、微小重力場の火炎におけるススの生成挙動を調べることを想定して多環芳香族炭化水素(PAH)や生成微粒子(スス)の非接触計測法についてより詳細に調査、検討を進めた事例、および今年度の活動状況を併せて報告する。

2. PAH およびススの非接触計測方法の調査、検討

燃焼において排出されるススに関して現在まで多くの研究がなされているが、生成・成長に関する条件、化学種やメカニズムなど未解明な点も多い。微小重力場の火炎にてスス生成挙動を調べることで、温度勾配や化学種濃度勾配が緩慢な燃焼場においてスス生成を観察することが可能となり、スス生成メカニズムの解明に繋がると期待される。微小重力環境において火炎中のスス生成挙動を調べた研究は幾つかある[1-2]が、ススの前駆物質から生成、成長に至るメカニズム解明に関する研究は見られない。

本研究チームでは、微小重力場を用いた火炎中のスス生成メカニズムの解明を一つの事例として検討している。ISS 実験においては、実験で生成された試料を回収することが極めて困難であることから、光学分析などによるその場観察が必須となる。このため PAH の計測に励起発光マトリクス法(EEM 法)[3]、ススの計測に透過光減衰法およびレーザ誘起赤熱法(LII 法)[4]の適用を検討した。まず EEM 法の使用光源について検討する。相澤らの研究では、Nd:YAG レーザを光源として用い、コヒーレントな多波長レーザ光を得るため長さ 1.2m の高圧散乱ガスを封入したラマンセルを用いている。ISS 多目的ラックを想定した場合、レーザ本体及び長いラマンセルの搭載が困難であるため、高圧水銀ランプの適用可能性について調べた。常温で得られている EEM マップを参照すると、PAH(1~6 環)の励起波長はおおよそ 240~470nm である。各種ランプの波長特性から、図 1 に示す Deep UV ランプ(ウシオ電機(株)製)が、EEM マップの比較的広い範囲をカバー出来ると思われる。同ランプの出力はワークベンチ電源容量の制限から 200W を想定すると光学ユニットを用いた場合 8W/cm²(照射距離 40mm)程度と見積られるが、Ar

レーザを用いた対向流拡散火炎中の PAH 計測例(およそ 56.5W/cm²)[5]に比べ低い出力である。同出力で十分な計測が可能か否かは検証を行う必要がある。またランプ点灯による発生熱対策を検討する必要がある。

レーザ誘起赤熱法(LII 法)については、例えば西華産業(株)製 LII 計測システム[6]を用いることにより ISS 多目的ラック搭載可能な容積に収めることができ、ナノサイズからのスス計測が可能である。EEM 法(1~6 環程度の PAH)、LII 法(ナノサイズからのプライマリスス粒子)、透過光減衰法(スス凝集体)を用いることで、全ての成長過程を網羅することは出来ないが、各過程で重要となる因子について検討することが出来ると考えられる。

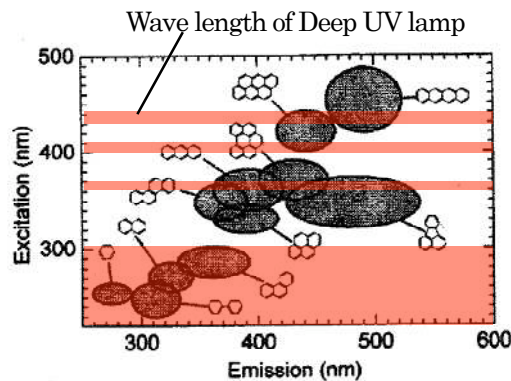


Fig.1 Wave length of Deep UV lamp on EEM map

3. 微小重力場の噴流拡散火炎中におけるスス生成への周囲空気流の影響

噴流拡散火炎中のススは生成および酸化過程で周囲空気流の影響を受けることが知られている[7]。本研究では、スス生成への周囲流速、酸素濃度および燃料流量の影響を調べることを目的として、微小重力実験を行った。実験装置概略を Fig.2 に示す。微小重力実験には、北海道赤平市にある微小重力実験塔「コスモトール」(約 2.7s)を使用した。内径 80mm のパイレックスガラス製円筒ダクト中心軸上に内径 7mm(外径 8mm)の円管バーナを設置し、火炎を形成する。燃料はエチレンとした。透過光画像からスス体積分率を調べた。

Fig.3 にバーナ出口から 40mm 高さにおける各半径位置のスス体積分率を示す。空気流速の増大とともにスス体積分率のピーク位置はバーナ中心方向へ移動するが、ピーク値はある空気流速で極大となることがわかる。

Fig.4 にバーナ出口からの各高さにおけるスス体積を示す。燃料流量が少ない(1.6mL/s)場合、酸素濃度の増大により上流側でスス生成量が増加するが、下流側において酸化も促進されることが示唆される。一方、燃料流量が多い(2.0mL/s)場合、酸素濃度の増大にともない上流側のスス量に変化は見られないが、下流側のスス量の減少が観察される。これらは火炎への酸素の供給や温度が大きく影響していると考えられるが、スス生成経路の変化など詳細な議論には上述のような計測が不可欠である。

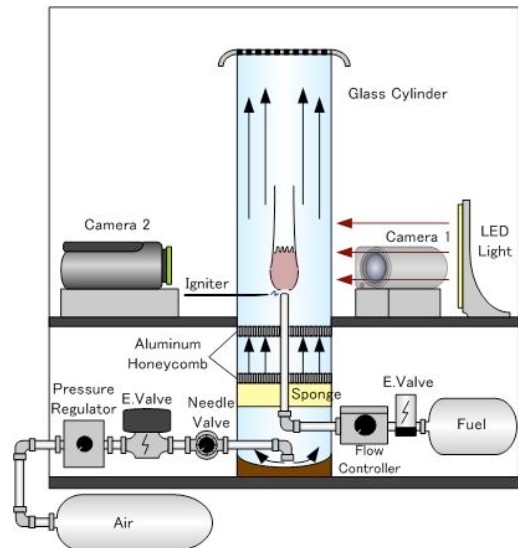


Fig.2 Experimental setup

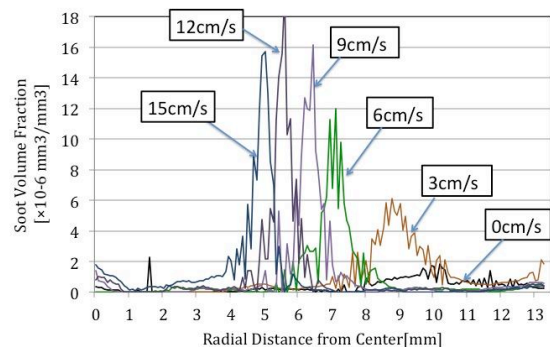


Fig.3 Soot volume fraction in the flame at H=40mm

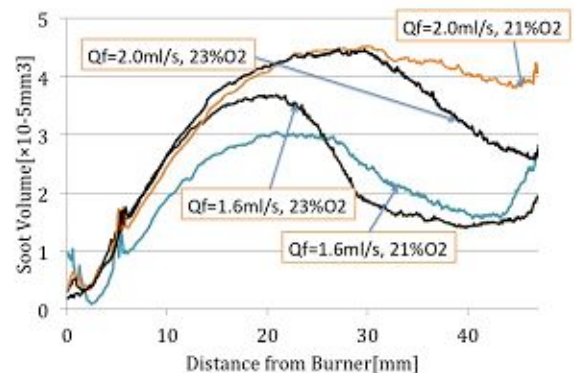


Fig.4 Soot volume at each height from the burner exit

参考文献

- 1)H.Ito, O.Fujita, K.Ito, Comb Flame 99 (1994) pp.363-370.
- 2)J.C.Ku, D.W.Griffin, P.S.Greenberg, J.Roma, Comb. Flame 102 (1995) pp.216-218.
- 3)相澤、小酒、松井、機械学会論文集(B編)70巻 690号 (2004-2) pp.194-200.
- 4)B.Axelsson, R.Collin, P.E.Bengtsson, Appl. Phys. B72 (2001) pp.367-372.
- 5)斎藤、小森、朱、平岡、西岡、竹野、機械学会論文集(B編)65巻 640号(1999-12) pp.264-271.
- 6)西華産業 HP: <http://seika-mt.com/catalog/LII.pdf>
- 7) B-H.Jeon, O.Fujita, Y.Nakamura, H.Ito, J. Thermal Sci. Tech., Vol.2, No.2 (2007) pp.281-290.