

## 微小重力環境下の火炎における微粒子生成挙動に関する検討 ～ 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<sup>1</sup>, 藤田 修<sup>1</sup>, 菊池政雄<sup>2</sup>, 奥山正明<sup>3</sup>, 小林秀昭<sup>4</sup>, 神原信志<sup>5</sup>

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 Particle Formation Behavior in the Flame under Microgravity

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

Hiroyuki Ito<sup>1</sup>, Osamu Fujita<sup>1</sup>, Masao Kikuchi<sup>2</sup>, Masaaki Okuyama<sup>3</sup>, Hideaki Kobayashi<sup>4</sup>, Shinji Kambara<sup>5</sup>

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

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

Abstract: Current activities of our research team (Gas phase combustion and material synthesis research team) are reported. Nowadays, 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. Study on single -walled carbon nanotube synthesis in a counter flow flame is also introduced.

*Key words*; Microgravity, Fine Particle, Combustion, Synthesis

### 1. はじめに

燃焼場は、燃料と酸化剤の発熱反応によって得られる高温と、燃料の燃焼過程で生じる種々の熱分解物、イオンや活性化学種などを併せ持ち、これらを利用した新たな材料合成の可能性を有している。一方で、燃焼によって生成されるススなどの燃焼生成物は人体に有害な環境汚染物質として排出抑制が求められている。

本研究チームは、微小重力環境の燃焼場を、(1) 材料合成の場合、(2) ススなどの燃焼生成の現象解明の場合、という2つの側面より捉え、これら事象を調査し、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、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調査、検討を進めている事例、および今年度の活動状況を併せて報告する。

### 2. 今年度の活動報告および予定

[1] きぼう船内実験室第2期利用後半期間に向けた実験テーマ提案 (2009年8月)

「微小重力環境を活用した火炎近傍カーボン分子および気相合成微粒子の反応経路解明」

微小重力場における火炎のスス生成メカニズム解明を目的として、スス前駆物質と言われるPAHおよびススの非接触計測を行う。回転バーナを用いるなど場および滞留時間をコントロールしてスス生成に与える影響などを調べるもの。

[2] 研究チーム会合

2009年11月に東北大学流体研究所(仙台)にて、第一回

研究チーム会合を開催した。本研究チームの方向性を話し合うとともに、各メンバーの研究事例紹介、固体燃焼研究班 WG の ISS 実験提案に基づく実験装置の製作状況などの紹介があった。また、本年度より研究チームとして「気相燃焼」までフィールドを拡げて実験テーマを創出していくよう検討を始めることとした。

[3] 赤平 50M 級落下施設(カプセル)の画像伝送装置設置確認

昨年度WG活動予算で購入した画像伝送装置(ウィンテル株式会社製、非圧縮映像無線伝送装置:SW-003T・R)を落下カプセル天板に取付け、伝送実験を行った。カプセル天板に加工した穴より送信機アンテナを15mm程度突出させた場合には、カプセル吊り上げ時に途中で画像を受信できなくなったが、50mm程度突出させた場合には、吊り上げ、落下までほぼ良好に連続的に画像を受信できることが確認された。また送信機とカプセル天板間にウレタン製の緩衝材を挿入することにより、送信機が落下の衝撃に十分耐えることが確認された。

[4] 固体燃焼 WG 試作実験装置による実験見学

2010年3月にMGLABにて予定されている固体燃焼研究班 WG の試作装置実験を見学し、ISSへ搭載する装置の要求事項、実験遂行上の工夫点や実際の動作状況を調査、修得する予定である。

### 3. 非接触計測方法の調査、検討

火炎におけるススの生成に関しては古くから多くの研究がなされているが、生成に関与する化学種やメカニズムなど未解明な点も多い。これらスス生成現象の理解を困難にしている一因として、通常重力場において火炎まわりに生じる自然対流の影響が挙げられる。火炎周りに

発生する自然対流は、反応に寄与する化学種、生成物化学種や熱の輸送に大きく影響し、スス生成が生じる領域の温度勾配や化学種濃度勾配を非常に大きなものとしている。これら勾配が緩慢な場である電気加熱反応管中におけるスス生成を調べた研究も行われている[1]が、実際の火炎ではイオンが多数発生するとされており[2]、反応管実験と燃焼火炎では必ずしも関与する化学種、および生成メカニズムが同じであるとは言えない。

一方、微小重力場の火炎におけるスス生成挙動を調べることにより、“温度勾配や化学種濃度勾配が緩慢な燃焼場”におけるスス生成について調べることが可能になることから、火炎におけるスス生成に関与する化学種やメカニズムの解明に繋がると期待される。微小重力場の火炎を用いてスス生成挙動を調べた研究も見受けられる[3-4]が、スス生成後の単位粒子径や凝集の様子について調べたものが多く、ススの前駆物質と言われている PAH の生成、成長および生成スス粒子の表面成長への寄与などについて調べられた例は少ない。

本研究チームでは、微小重力場の火炎におけるスス生成メカニズム解明を一つの事例として検討する。このためスス粒子や PAH の非接触計測方法について、調査を継続中である。PAH の計測には、励起発光マトリクス法 (EEM 法) [5]、ススの計測には透過光減衰法およびレーザー誘起赤熱法 (LII 法) [6] が有力と思われる。EEM 法は高圧水銀ランプや多波長レーザー光を光源とし、励起波長と蛍光波長の関係から複数の PAH を同定、定量する方法である。LII 法はレーザー光でスス粒子を加熱し、その冷却挙動から粒径を調べるものであるが、レーザー加熱の際にススが部分的に蒸発するなどの問題もあるため、低出力レーザーでの計測を検討する必要がある。

微粒子の非接触計測は、後述のカーボンナノチューブ生成における触媒形成などスス粒子計測以外にも応用できる要素技術であり、この手法を確立することは重要である。

#### 4. 通常重力場に置かれた対向流平面拡散火炎におけるカーボンナノチューブ生成への電場印加の効果

従来同軸円管バーナで調査を行ってきた火炎法による単層 CNT (SWNT) 生成への電場印加の効果をより詳細に調べるため、準一次元的な火炎と見なせる対向流平面バーナ (図 1) を用いた。SWNT 生成に必要な金属触媒源としてフェロセン由来の鉄微粒子を浮遊触媒として供給した。火炎下方燃料側に SWNT を捕集するサンプリンググリッド (3mm, 銅製 TEM グリッド) を設置 (火炎下方 4mm, 300 s) するとともに直流負電圧を印加し、上方バーナを GND とした。燃料として C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>: 5vol%, H<sub>2</sub>: 15vol%, N<sub>2</sub>: 80vol%、酸化剤として O<sub>2</sub>: 20vol%, N<sub>2</sub>: 80vol% をそれぞれ供給した。

図 2 に、採取されたサンプルのラマン分光分析結果を

示す。図 2(b) の G バンドはグラファイト化度、D バンドは欠陥や不純物に由来するピークであるが、電圧を印加することにより G バンドは大きく D バンドは小さくなり結晶度が改善されている傾向が見られる。SWNT の存在を示す図 2(a) の RBM モードに見られるピークから SWNT 直径を推定することが出来る。電圧を印加することで、電圧を印加しない場合には見られなかった 1.35nm, 1.55nm にピークが見られるようになり、生成される SWNT 直径分布が変化することが分かる。これには気相中における金属触媒微粒子形成過程が深く関わっていると予想される。また SWNT および不純物の生成に PAH 形成の有無、変化が大きく影響している可能性が考えられ、気相中におけるこれらの生成機構を明らかにすることは重要である。

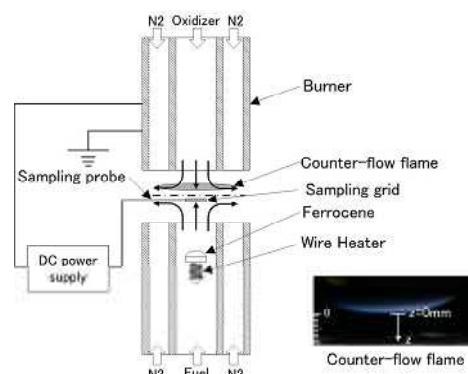
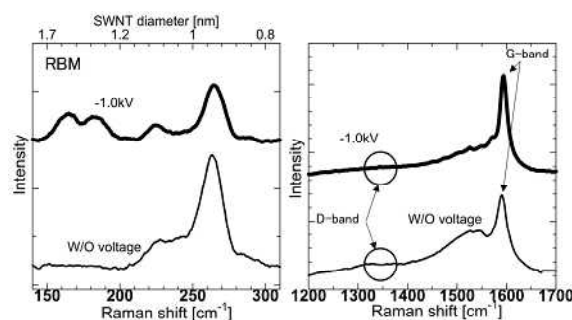


図 1. 対向流平面火炎バーナ



(a) RBM モード (b) G バンドおよび D バンド

図 2. サンプルのラマン分光分析結果

謝辞

本研究の一部は平成 20 年度科学研究費基盤研究 C 課題番号 20560176 による支援を受けて行われた。謝意を表す。

参考文献

- 1) R.L. Vander Wal, A.J. Tomasek, Comb. Flame 136 (2004) pp.129-140.
- 2) J.M. Goodings, D.K. Bohme, C. Waing, Comb Flame 36 (1979) pp.27-43, pp.45-62.
- 3) H. Ito, O. Fujita, K. Ito, Comb Flame 99 (1994) pp.363-370.
- 4) J.C. Ku, D.W. Griffin, P.S. Greenberg, J. Roma, Comb. Flame 102 (1995) pp.216-218.
- 5) 相澤, 小酒, 松井, 機械学会論文集 (B 編) 70 巻 690 号 (2004-2) pp.194-200.
- 6) B. Axelsson, R. Collin, P.E. Bengtsson, Appl. Phys. B72 (2001) pp.367-372.