

## 平成18年度「微小重力燃焼による材料気相合成検討WG」活動報告書

代表者所属 氏名 北海道大学大学院工学研究科 藤田 修

## 1. 構成メンバ

氏名	所属
藤田 修	北海道大学
菊池政雄	JAXA
伊東弘行	北海道大学
小林秀昭	東北大学
奥山正明	山形大学
神原信志	岐阜大学

## 2. 本年度 WG 会合開催実績

第1回：平成18年12月19日

第2回：平成19年 3月20日

## 3. 活動目的

燃焼場は、温度が高いばかりでなく燃料の燃焼過程で生じる種々の熱分解成分や活性化学種が存在しており、これらを元にした新たな材料合成の可能性がある。例えば、火炎中でのフラーレンやカーボンナノチューブ（CNT）はその代表的なものであり、金属やSi含有成分の燃焼では微粒子の生成なども期待できる。しかし、通常重力場では浮力に起因する強い流れが燃焼場に発生し、材料合成に要する時間が長い場合にはその生成は不可能である。また、触媒粒子を燃焼場へ投入する必要がある場合には、重力場では火炎内に触媒を保持することは難しい。一方、微小重力場では対流に起因するこれらの困難さを克服できることから、燃焼場を新たな材料合成の場として活用できる可能性がある。

本WGでは、微小重力における火炎を新たな材料合成の場として位置付け、その可能性を探求すると共に、微小重力場における材料気相合成に関する研究テーマ提案を行うことを目的とする。

## 4. 活動内容

## 4.1 第1回 WG 会合報告（山形・米沢）

## 1) 本年度の活動内容

上述の活動目的および本年度の活動内容について WG 主査の藤田より説明が行われた。本年度の活動内容としては、以下の3項目である。

- (1) 構成研究者の研究成果紹介と議論
- (2) 微小重力実験手段の調査
- (3) 長時間微小重力実験テーマ構築に関する議論。

項目(2)に関しては、北海道に新たに設置された50m級の落下塔に関する調査およびISS多目的ラックに関する調査を含んでいる。

## 2) 構成委員の研究紹介

奥山委員：CNT連続生成技術の研究

第1回 WG は山形大学にて実施し、同大学の奥山正明委員による研究紹介および実験室見学が行われた。山形大学では、種々の炭素質物質からCNT合成を連続的に行う研究を実施している。触媒基板を燃焼場に挿入し、基板上にCNTを徐々に成長させていく。しかし、現時点でCNT生成条件は必ずしも明らかになっておらず、CNT生成の最適化に向けて改善の余地の残る状態である。微小重力場を活用することで、燃焼場の構造を単純化した上で、CNT生成条件を明らかにすることができれば、地上の大量合成へも大きく貢献するものと期待される。

伊東委員：微小重力燃焼法を用いたCNT生成（DC電場付加の効果）

北海道大学伊東弘行委員より、本WGで主課題の一つに挙げている微小重力場

の CNT 生成に関する研究の紹介があった。

図 1 に示すようなスロットバーナを用いて微小重力拡散火炎中の CNT 生成の観察を行った。燃料はエチレンで、燃料噴出口と並行するスロットからアルゴンと空気の混合気が供給される。周囲は、採取した試料の酸化を防ぐため、不活性ガスであるアルゴンで満たされている。

本年度は、CNT 生成に及ぼす電場の効果について検討した。微小重力場を活用することで燃焼場に自然対流による流れが発生せず、単純に電場のみの効果を見ることができる。

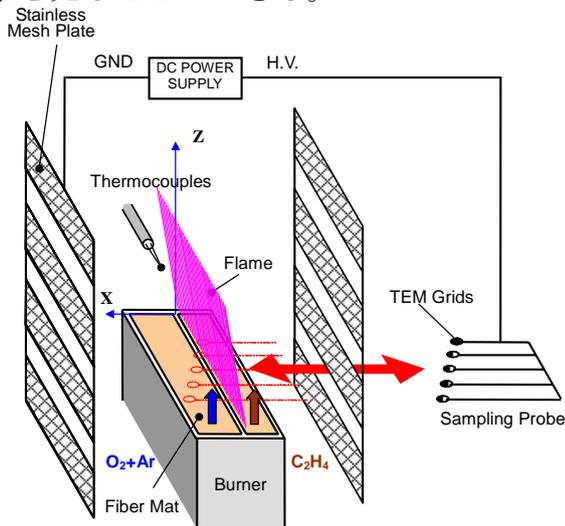
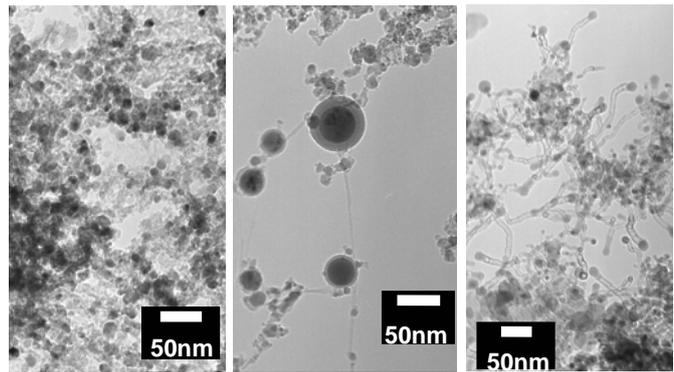


図 1 CNT 生成に用いたスロットバーナ

図 2 は、図 1 の火炎から採取した試料を電子顕微鏡(TEM)により観察した結果で、(a)が電場を印加しない場合、(b),(c)が電場を付与した場合の結果で、それぞれバーナ口から 3mm および 13mm の位置で採取したものである。

この結果を見ると、電場を付与しない場合はほとんどがアモルファス状の炭素質物質となっており、CNT はほとんど見られていない。一方、電場を付与した火炎では、明確に CNT の生成が観察されるようになり、しかも火炎中の広い範囲に渡って生成が見られるようになる。また、火炎の



(a) 電場無 (b) 電場有(Thin CNT) (c)電場有(Thick CNT)

図 2 採取された炭素質物質

基部付近では、外径 2nm 程度の細い CNT が支配的である (図 2 (b)) であるのに対し、火炎の下流へ進むと CNT の外径が大きくなるとともに、CNT の生成量そのものの大幅に増加している。図 2 (c) の写真では、極めて多くの CNT が触媒粒子を中心に放射状に伸びていることがわかる。このことは、電場を印加した場合でも火炎中の滞留時間が CNT 生成に大きな影響を及ぼしていることを示している。

電場を付与した場合に、CNT 生成量が増加するのは、電場により触媒活性が向上することが要因の一つと考えられるが、今後微小重力環境を利用することでこの点をさらに検討していく。

### (3) 微小重力実験手段の調査

JAXA の方にご出席いただき、多目的ラックの概念についてご説明頂いた。これを基に、想定される要求事項の議論を行った。また、次回委員会において多目的ラックの使用に関する概念を議論することとした。

## 4.2 第 2 回 WG 会合報告 (北海道・赤平)

### 1) 微小重力実験手段の調査

#### HASTIC50m 落下塔

2006 年 6 月より運用が開始された 50m 級落下塔の視察およびデモ実験の見学を行った。本落下塔は、北海道大学および(株)植松電機により整備されたもので、運営が北海道宇宙科学技術創成センター

(HASTIC)により行われている。実落下距離が約 40m、微小重力時間約 2.5 秒である。2 重カプセル方式で、約 100kg の装置を搭載できる。制動時加速度は 17G 程度である。

次年度に向けて、本設備を用いた実験計画を取り込んだ本 WG の継続提案も検討する。



図 3 HASTIC 落下塔

### ISS 多目的ラックおよび長時間微小重力実験構築に関する議論

第 1 回および第 2 回 WG における議論から燃焼気相合成実験を想定したときの、多目的ラックの概念について予備的議論を行った。この結果、多目的ラックを燃焼系の実験に適用するには、

- 空気の吸排気（真空系）が必要
  - 輸送する空気の量が実験数を制限する
  - 燃焼で消費した分だけ酸素を追加するような工夫が必要
  - 燃焼分野では計測項目の共通性が高い
  - 燃焼室は 2 重構造が想定される
  - 燃焼室外箱は可能な限り大きいことが望まれる
  - 映像データファイルは 10GB が目安
  - 計測系などは可能な限り市販品を使用
  - 制御、データ蓄積等は Work volume の外側におかれた PC による
- などの点が装置に対する意見として出された。

これらの意見を考慮したうえで、多目的ラックでの燃焼実験を想定した際の概念図を図 4 に示す。Work Volume が燃焼室およびガス供給ユニットに分けられ、燃焼室外箱の内側にさらにサイズの小さい燃焼室の入る構造が考えられる。

なお、この案は第一段階の議論によるもので、今後さらに検討を行う必要があるものと考えられる。

本 WG は次年度も継続提案を行い、その中で、多目的ラックを使用することを想定した検討を各委員が進め、その結果を基に WG にて議論を深めていく予定である。

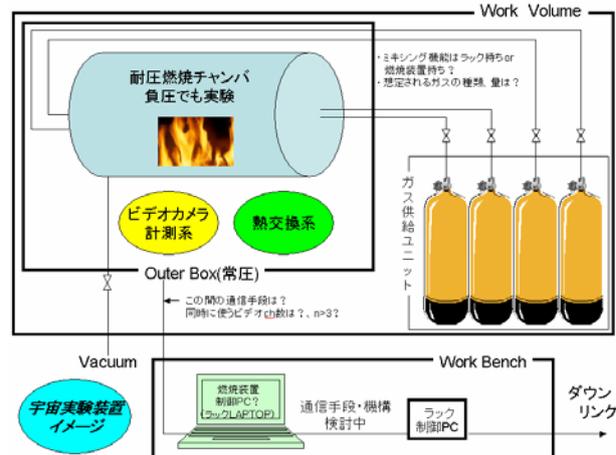


図 4 多目的ラックによる燃焼実験系統の一案

## 5. 成果

### 1) 学会発表

[講演]

1. 藤田、伊東、伊藤、植松、宇宙科学技術連合講演会、50m 落下塔を用いた微小重力場における燃焼現象の研究、2006.11.
2. 内山、中出、伊東、藤田、微小重力火炎における CNT 生成への電場印加の効果、第 44 回燃焼シンポ講演論文集、(2006.12), pp.232-233.
3. 伊東、内山、藤田、微小重力火炎を用いた CNT 生成～DC 電場付加の効果（微小重力燃焼による材料気相合成 WG の研究例紹介）第 23 回宇宙利用シンポジウム(2007.1.16), pp.139-140.
4. 奥山、富村、メタン空気予混合火炎によるカーボンナノ物質の燃焼合成、日本機械学会平成 19 年度熱工学コンファレンス講演論文集、(2006.11), pp.313-314.
5. 奥山、富村、ニッケルを用いたカーボンナノ物質の燃焼合成、第 44 回燃焼シンポ講演論文集、(2006.12), pp.540-541.

[国際講演]

1. Hiroyuki Ito, Yusuke Nakade, Tomoyasu Uchiyama, Osamu Fujita, Effect of DC Electric Field on Carbon Nanotube Synthesis in Microgravity Diffusion Flame, Fifth International Symposium on Scale Modeling (ISSM-V), September 13(Wed) - 16(Sat), 2006-5.

Choshi, Japan.

2.Hiroyuki ITO, Tomoyasu UCHIYAMA, Yusuke NAKADE and Osamu FUJITA, DC Biasing Effects on Carbon Nanotube Formation in Microgravity Diffusion Flame, 8<sup>th</sup> International Workshop on Short -Term Experiments under Strongly Reduced Gravity Condition (DTD2006 in Japan), October 30 - November 1, 2006, Tsukuba Japan.

3. Osamu Fujita, Hiroyuki Ito, Kenichi Ito, Tsutomu Uematsu, HASTIC Drop Tower -New short term microgravity facility in Hokkaido-, 8<sup>th</sup> International Workshop on Short -Term Experiments under Strongly Reduced Gravity Condition (DTD2006 in Japan), October 30 - November 1, 2006, Toki and Tsukuba Japan.

4.Jeon, B.-H., Fujita, O., Ito, H., and Nakamura, Y., "Effect of Co-Axial Flow Velocity on Soot Formation in a Laminar Jet Diffusion Flame under Microgravity", Proc. 18th International Symposium on Transport Phenomena (18th ISTP), Daejeon, Korea (2007.8), accepted.

[論文]

1.Hiroyuki ITO, Tomoyasu UCHIYAMA, Yusuke NAKADE and Osamu FUJITA, DC Biasing Effects on Carbon Nanotube Formation in Microgravity Diffusion Flame, JASMA special issue for DTD2006, submitted.

2) 特許  
なし

3) 競争的資金獲得・応募状況

1. 第7回宇宙環境利用に関する公募地上研究（宇宙利用先駆研究）「微小重力燃焼法を用いたカーボンナノチューブ生成」、（研究代表者：伊東弘行）