

微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究 (H20 研究班 WG 報告)

北海道大学 藤田 修、中村祐二、永田晴紀、宇宙航空研究開発機構 菊池政雄
弘前大学 伊藤昭彦、鳥飼 宏之、名古屋大学 梅村 章、岐阜大学 高橋周平
徳山高専 池田光優、ソウル大学 Suk Ho Chung

Solid Combustion Research in Microgravity (2008 Research WG Report)

Osamu Fujita¹, Yuji Nakamura¹, Harunori Nagata¹, Masao Kikuchi², Akihiko Ito³,
Hiroyuki Torikai³, Akira Umemura⁴, Shuhei Takahashi⁵, Mitsumasa Ikeda⁶, Suk Ho Chung⁷
1:Hokkaido University, 2:JAXA, 3:Hirosaki University 4:Nagoya University 5:Gifu University
6:Tokuyama Technical College of Technology 7:Seoul National University

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

Abstract: Since solid combustion is dominated by diffusion process of pyrolyzed gas as well as heat balance around combustion area, which are strongly affected by convective flow, microgravity could be an effective tool to understand its mechanism. One of the most important contributions of solid combustion research in microgravity is fire safety in space. In the present report, some researches on going regarding fire safety in space will be introduced.

Key words; Combustion, Solid Material, Flame spreading, Ignition, Microgravity Experiment

1. はじめに

NASAが定める宇宙船内材料の火災安全性判定試験は通常重力場での実施が前提である。一方で、材料の燃焼性は微小重力場の方が高くなり得ることがわかっており、宇宙船内での火災安全性向上のためには、通常重力場と微小重力場の違いを明確に理解することが求められる。本WGでは、火災現象に関連の深い2つ課題（外部加熱による着火、および固体表面燃え広がり）を取り上げ、重力条件による違いを実験および理論面から明らかにし、その影響を定量的に評価することを目的としている。

また、これらの研究の中でとくに長時間微小重力環境を活用することでより大きな科学的成果に繋がる課題を抽出し、将来の宇宙実験の可能性を検討している。

2. 固体燃焼 WG における研究状況

2.1 電線の通電着火に関する研究

電気配線がショートした際の発火現象は、宇宙火災安全性に関し最も現実的な火災の発生要因と考えられる。昨年度の研究では、過電流の連続通電を行い、着火に至る下限電流範囲が微小重力場において大幅に拡大することが示された[1,2]。本年度は、実際の電気システムで過電流が生じた際には、ブレーカーが作動することを考慮し、通電時間を限定した際の着火現象を調べることとした。

図1は、実験装置の概念図である。水平に張った電線（ポリエチレン被覆のニクロム線、外径0.8mm、心線0.5mm、PE#2）に電流を与え、その

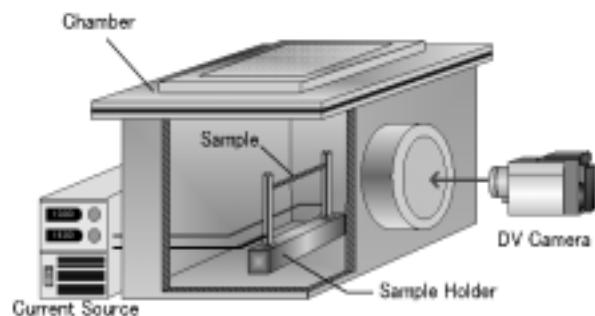


図1 装置概略図

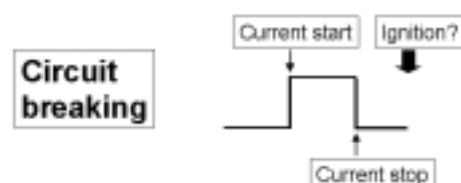


図2 電流供給パターン

時の着火挙動を観察する。電流は、図2に示すようにステップ的に与え、過電流の発生と遮断を模擬する。観察結果の例を図3に示す。通電時間を1秒に限定し、通電電流値に対する着火遅れ時間の変化を示す。通常重力場（図中）および微小重力場（図中）のいずれの場合も通電電流値の低下とともに着火遅れ時間が長くなる。しかし、両者の間には大きな違いが存在している。すなわち、通常重力場では着火下限電流値が14Aであったのに対し、微小重力場では12Aまで低下する。また、着火遅れは通常重力場では最大で1秒とほぼ通電時間と同じであるのに対し、微小重力場で

は最大 2.3 秒と通電時間より大幅に長くなっている。この結果は、微小重力場では、ブレーカーが作動し通電が停止した後も、着火が生じる可能性が高いことを示している。

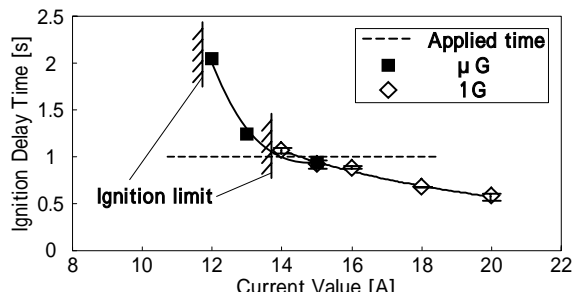


図3 短時間通電に対する着火遅れ時間
(通電時間 1 秒、O₂=40%)

表 1 は、短時間通電着火を行った際の電線の単位長さあたりの最小の加熱量(J/cm)(以下着火エネルギーと呼ぶ)を求めた結果である。酸素濃度、通電時間、重力条件を変えて比較している。この結果からわかるように、通電時間を変えても、着火に必要なエネルギーは比較的共通の値となっている。例えば、酸素濃度 21%で微小重力場における着火エネルギーは通電時間が 1 秒および 0.5 秒のいずれの場合でも 10.78J/cm となっている。一方、重力条件の違いによる着火エネルギーは大きく異なり、例えば 0.5 秒通電、O₂=40%の場合、通常重力場では微小重力場の 2 倍のエネルギーを必要としている。また、酸素濃度による違いもかなり大きく、流れ場および酸素濃度の違いが着火エネルギーに大きな影響を与えていることがわかる。なお、ここで与えた最小着火エネルギーは微小重力時間が 4.5 秒(MGLAB)において得られた結果である。微小重力の継続時間が長くなればさらに小さなエネルギーでも着火に至る可能性もある。この点は、長時間微小重力実験でなければ確認することができず、今後の課題と考えられる。

表 1 最小着火エネルギー (単位: J/cm)

Gravity	1G	μ G	1G	μ G
Time	0.5 sec	0.5 sec	1 sec	1 sec
21%	13.31	10.78	15.9	10.78
40%	12.13	6.66	10.78	7.92

2.2 電線の燃え広がりに関する研究

着火に続き生じるのは試料表面の燃え広がり現象である。これに関しては、周囲空気流速と燃え広がり速度の関係を得ることが重要である。この関係を求めるためには、火炎から未燃焼部分への熱輸送を見積もる必要がある。この算出に対し現在不足しているデータは、火炎からの熱放射予測

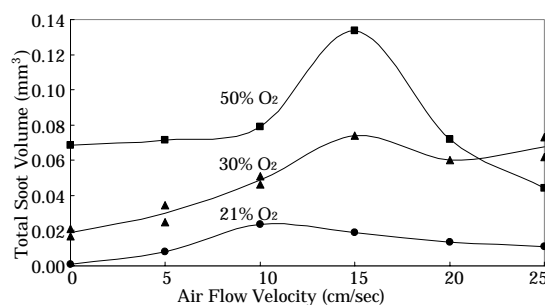


図 4 周囲流速に対するすす生成量の変化 (μ G) に関するものである。とくに、熱放射特性に大きな影響を与える火炎中のすす濃度の流速依存性は十分に明らかにされているとは言えない。図 4 は、電線被覆燃え広がり火炎において生じるすすの総量を透過光減衰法で求めたものである。すす濃度は、特定の周囲流速に対し極大値を持つ傾向を示し、燃え広がり速度の流速依存性と類似の傾向を示すことがわかった。一方で、数値計算による燃え広がり現象のシミュレーションも進めており[3]、すすの影響を含めた予測を今後進める。

2.3 減圧下での燃え広がり現象

電線の燃え広がりに関しては、減圧条件下での観察も行っている。酸素濃度を固定し全圧を低下させた場合、圧力の低下とともに燃え広がり速度が増大するという興味深い結果が得られている[4]が、本年度はこれに加え、溶融被覆材の動的挙動の観察などを進めている。

2.4 減酸素及び不活性ガスの燃え広がりへの影響

固体表面の燃え広がりを、減酸素濃度条件で観察し、特定の周囲流速において火炎燃え広がりを維持できる最低酸素濃度(LOI)が極小の値を取るという興味深い結果が得られている。

3. 今後の展望

固体の燃焼現象の多くは、相対的に長い時間スケールを有している。このため、微小重力実験には、短時間微小重力実験と長時間微小重力実験を組み合わせることで実施することが極めて効果的である。今後長時間微小重力実験についても積極的に提案して行きたいと考えている。

[文献] [1]藤田, 中村, 永田, 菊池, 伊藤, 梅村, 高橋, 微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究(H19 研究班 WG 報告), 宇宙利用シンポジウム(第 24 回), (2008.1.18), pp.144-145.]

[2]阿形, 藤田, 市村, 伊東, 中村, マイクロ重力応用学会誌論文 Vol.25, No.1, pp.11-16, (2008.1).

[3]中村, 工藤, 伊東, 藤井, 菊池, 藤田, 微小重力下での被覆導線燃え広がり現象に与える火炎放射の影響, 日本燃焼学会誌, Vol.50, No.153, (2008-8 月号), pp.255-263.

[4]Y.Nakamura, N.Yoshimura, H.Ito, K.Azumaya, and O.Fujita, Proc.The Combustion Institute, Vol.32, (2009), pp.2559-2566.