

## 微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究 (H21 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 (2009 Research WG Report)

Osamu Fujita<sup>1</sup>, Yuji Nakamura<sup>1</sup>, Harunori Nagata<sup>1</sup>, Masao Kikuchi<sup>2</sup>, Akihiko Ito<sup>3</sup>,  
Hiroyuki Torikai<sup>3</sup>, Akira Umemura<sup>4</sup>, Shuhei Takahashi<sup>5</sup>, Mitsumasa Ikeda<sup>6</sup>, Suk Ho Chung<sup>7</sup>  
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, flammability limit becomes very different depending on the gravitational conditions. In the present work, the attempt to obtain ignition limit for overloaded electric wire and extinction limits for spreading flame over flat sheet has been made under the limit of 4.5 sec microgravity time provided by MGLAB. According to the experiments, it is found that the flammable limits, ignition and extinction limits, significantly extend in microgravity in comparison with those in normal gravity.

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(①電気配線過電流による着火、および②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、これらの研究は地上の短時間微小重力実験施設のみで完結させることが難しいことから、国際宇宙ステーション第2期利用後期テーマ募集へ研究提案を行うとともに、軌道上長時間微小重力実験を想定した実験装置の開発を進めた。

#### 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。昨年度までの研究により、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、通電時間を限定(短時間通電と呼ぶ、電流遮断器が作動する状況を想定)しても通電停止後かなり時間遅れを持って着火する可能性があることなどが示されている[1,2]。本年度は、短時間通電の中でも、通電継続時間により着火限界条

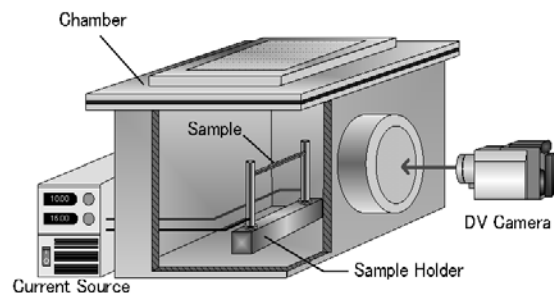


図1 装置概略図

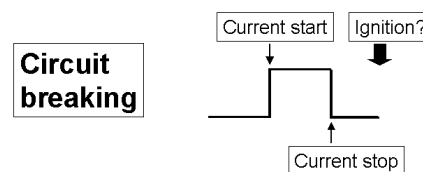


図2 電流供給パターン

件がどのように変化するかを調べた。

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。実験変数としては、ステップの幅(通電時間)および高さ(電流値)を変える。

観察結果の一例として、通電時間を1秒に限定したときの、着火範囲を図3に示す。微小重力場における着火の大きな特徴として、通電停止後の着火現象が挙げられる。そこで、通電停止前に着火する条件(図中○)、通電停止後に着火する条

件（図中▲）、着火しない条件（図中×）を分けてプロットした。この結果をみると、通電停止後に着火する範囲が広く存在していることがわかる。通常重力場では、通電停止後の着火がほとんど生じないことから、この領域の存在がそのまま微小重力場における着火範囲の拡大につながる。

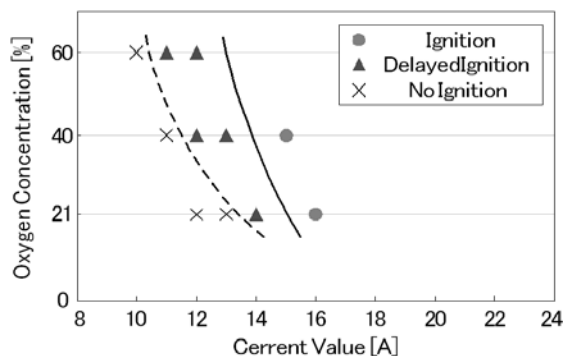


図3 短時間通電に対する着火範囲  
(通電時間 1 秒、 $\mu$ G)

次に、この着火限界条件が決定される機構を知るため、種々の通電時間に対し着火限界条件を求めた。図4は、このそれぞれの通電時間に対し、電線に与えた通電電力量と着火遅れ時間の関係を示している。この結果、いずれの通電時間に対して、通電電力量が減少するとともに、着火遅れ時間が長くなること、通電停止後大幅に遅れて着火する場合のあること（例えば、0.5 秒通電の場合、最大の着火遅れが 4.2 秒程度）がわかる。さらに興味深いのは、通電時間によらず、着火の着火下限電力量がほぼ一定値になっていることである。

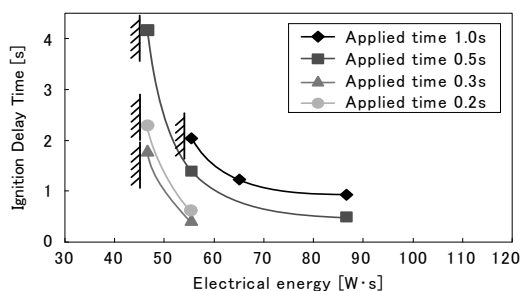


図4 通電電力量と着火遅れの関係（通電時間を変化、O<sub>2</sub>=40%、 $\mu$ G、試料長さ 4cm）

この傾向をよりわかりやすく観察するため、通電時間に対する最小着火エネルギーを図5に示した。この図においては、重力条件および酸素濃度も実験パラメータとしている。なお、図中縦軸に示した最小着火エネルギーは、試料電線の単位長さあたりの値で示している。この結果から、最小着火エネルギーは、微小重力場において大幅に小さくなるのがわかる。また、興味深いのは、通

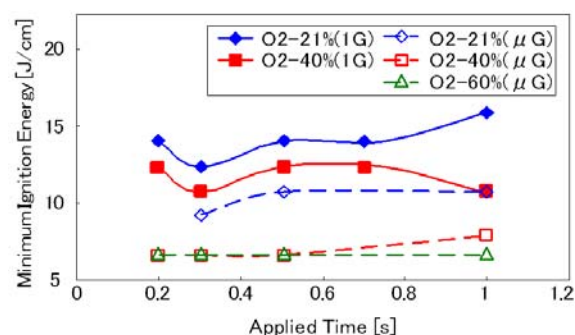


図5 通電時間に対する最小着火エネルギー

常重力場では最小着火エネルギーが通電時間により変化するのに対し、微小重力場ではほぼ一定値を示す。このことは、微小重力場では、一般性のある値としての最小着火エネルギーを定義できる可能性のあること、その着火エネルギーをひとたび与えてしまうと、電流遮断器で通電を停止しても最終的には着火に至ることなどを示唆している。

ただし、図4に示すように、ここで取得した着火限界条件は、4.5 秒の微小重力時間により制限されている。長時間微小重力場では、さらに小さい電力量で着火する可能性もあり、本質的な下限のエネルギー（最小着火エネルギー）を定めるには、長時間微小重力実験の利用が不可欠である。

## 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、現象の非定常性および酸素濃度に関する消炎限界について検討を進めた。地上施設の範囲では、明らかな非定常性が観測され、燃え広がり現象そのものが定常条件を有するのかどうかという点が極めて興味深い課題として見いだされた。また、この非定常性の問題により、本質的な消炎限界を得るには、長時間微小重力環境実験が必要であることが示唆された。

## 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の提案を継続するとともに、実験の実現に向けて、装置および実験手法の具体的な検討を進めて行きたいと考えている。

[文献] [1] 阿形、藤田、市村、伊東、中村、マイクログラビティ応用学会誌論文 Vol.25, No.1, pp.11-16, (2008.1).

[2] 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 (H20 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.]