

## 微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究 (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、名古屋大学 梅村 章、岐阜大学 高橋周平

### Solid Combustion Research in Microgravity (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>, Akira Umemura<sup>4</sup>, Shuhei Takahashi<sup>5</sup>

1:Hokkaido University, 2:JAXA, 3:Hirosaki University 4:Nagoya University 5:Gifu 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. Because individual physical processes included in the solid combustion have different time scale, it is specially noted that combination of short-term and long-term microgravity experiments is important to proceed the researches on solid combustion in space.

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

#### 1. はじめに

固体の燃焼は、産業の分野では石炭やバイオマス燃料の燃焼およびガス化、産業廃棄物の焼却処理等広く活用されている。また、火災に係わる燃焼現象のほとんどは固体の燃焼である。このように、固体の燃焼現象は日常生活に幅広く関わる重要な現象である。また、宇宙利用の面に関しては、有人宇宙ミッションの長期化や月面・火星基地の構築に向けた宇宙火災安全性研究の確保が重要な課題となっている。

一方で、燃焼場においては、局所的な発熱反応に伴う浮力影響が現れ火災周辺に制御できない流れが発生する。この結果、熱分解生成物あるいは酸化剤の拡散過程が現象を支配する固体の燃焼現象は、3次元的な複雑な構造となりその解明が難しくなる。微小重力環境の活用は、この問題を緩和し固体燃焼のより本質的な理解に貢献するものと期待される。

本 WG では固体燃焼の基礎過程 (着火、燃え広がり等) を微小重力環境の活用により解明することを目的とする。また、こ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探り、将来の宇宙実験の可能性を検討している。一方で、宇宙での火災安全性は閉じた空間での燃焼現象が対象であることから、周囲雰囲気 (圧力、酸素濃度、不活性ガス、等) との相互作用に関する研究も重要であり、このような雰囲気下での燃焼過程と重力の関わりについても検討を行っている。

#### 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

宇宙火災安全性に関し最も現実的な課題は電気系統の火災であり、なかでも電気配線がショートした際の発火現象は最も危険性の高い現象の一つである。ここで宇宙火災安全性に関し焦点となるのは“微小重力下では通常重力下に比べ燃焼性が高いかどうか”という点である。この点を明らかにするために、電線に一定電流を与え微小重力場における着火現象の観察を行っている。

図1は、このときの着火特性を重力の有無により比較した結果である。図の横軸が通電電流値、縦軸が着火遅れである。この結果から、着火遅れは微小重力環境のほうが明らかに短いことがわかる。また、着火に至る下限の電流値も微小重力場の方が小さくなっており、発火リスクが高くなることは明らかである[1]。この実験は、北海道赤平市に設置された50m落下塔により取得したもので、微小重力時間が3秒間に制限されている。今後、より長時間の微小重力実験が期待される。

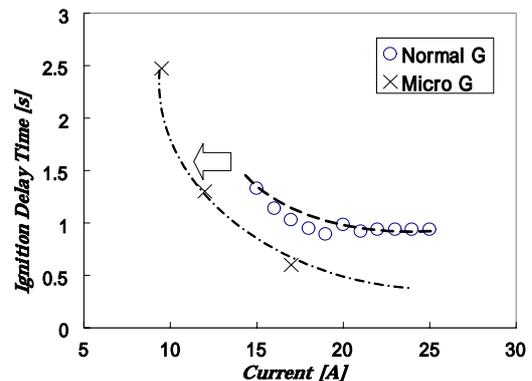


図1 ポリエチレン被覆導線への通電電流と着火遅れの関係[1]  
(PE被覆厚0.15mm, 心線径0.5mm, 心線ニクロム O<sub>2</sub>21%)

## 2.2 電線の燃え広がりに関する研究

着火に引き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。この関係を実験的および理論的に明らかにすることで、自然対流がない周囲流速の極めて遅い条件に対する固体材料の燃焼性の評価が可能になる。

図2は、微小重力下で周囲流速を変化させた時の電線被覆の燃え広がり速度を調べたものであり、実線が実験値、破線が数値計算によるものである。いずれの結果についても、低流速条件で燃え広がり速度が極大値を示しており、低流速において燃焼性が最も高くなる条件の存在していることがわかる。しかし、現時点では、極大の現れる傾向は一致しているものの、ピークを示す流速条件が異なることや絶対値に違いが現れることなど、さらなる検討が必要である。実験の立場から見た場合、現象が10秒間では定常に到達していない可能性がある一方で、計算については、すす生成の流速依存性に基づく輻射強度変化が反映されていないことなど、さらなる検討が必要と考えている。

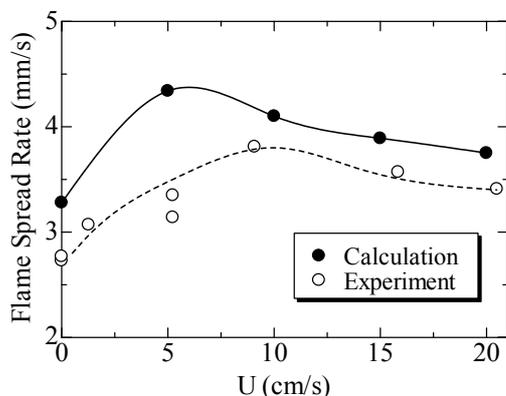


図2 電線被覆表面の燃え広がり速度と周囲流速[2,3]  
(酸素濃度 35%, 試料:図1と同じ、実験は地下無重力実験センターで実施、数値計算着火後5秒後の値)

## 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21%に固定したうえで、全圧を低下させていった場合、圧力の低下とともに燃え広がり速度が増大していくという興味深い結果が得られている[4]。一般に、圧力が低下すると燃焼強度は低下すると考えられることから、対流の抑制による熱損失の減少が燃え広がり重要な役割を演じていることを示唆している。

## 2.4 減圧下での外部輻射加熱着火

固体燃焼に対しては、外部輻射着火現象も重要

な研究課題である。実験手段としては、炭酸ガスレーザーを用いセルロースを加熱着火させている。この結果では、雰囲気圧力を低下させても着火限界の雰囲気酸素濃度はあまり変わらず、より低い酸素分圧で着火が生じることが見出されている[5]。

## 2.5 減酸素下での燃え広がり現象

微小重力場では、対流が抑制されるため燃焼場への酸化剤の流入が抑制される。火炎の強度は、燃焼場への酸化剤供給により制御されるため、雰囲気酸素濃度を低下させることと、微小重力場における火炎の間に類似性の存在することを指摘している。微小重力場における宇宙材料の火災安全性を地上で評価する手段の開発につながるものとして注目される[6]。

## 2.6 雰囲気不活性ガス

雰囲気不活性ガス組成は、ガスの熱容量や温度伝導率、拡散係数に影響を与えるだけでなく、輻射の再吸収媒体として作用し、微小重力場での火炎に重要な影響を与える可能性がある。このような観点から、不活性ガス組成の影響について微小重力実験を含めた幅広い検討がなされている[7]。

## 3. 今後の展望

本報告で紹介された研究の結果からもわかるように、固体の燃焼現象は燃焼場近傍の流れに極めて大きな影響を受ける。また、現象を構成する基本的な物理過程は種々の時間スケールを有している。このため、微小重力実験を研究に取り入れる場合、比較的短時間で実験が可能な部分がある一方で、より長時間の微小重力実験を組み合わせることが研究の完結性を高めることにつながるものと考えられる。

[文献][1] 藤井、Ejarque, J.P., 藤田、中村、伊東、第44回燃焼シンポジウム予稿集、(2006-12), pp.230-231.

[2] 工藤、佐藤、中村、藤田、菊池、第43回燃焼シンポジウム予稿集、(2005-12), pp.459-460.

[3] O. Fujita, K. Nishizawa, and K. Ito, Proc. Combust. Inst., 29, 2545-2552, (2002).

[4] 中村、松村、吉村、伊東、藤田、第23回宇宙利用シンポジウム講演論文集、(2007.1), (印刷中).

[5] 中村、青木、伊東、藤田、草野、第23回宇宙利用シンポジウム講演論文集、(2007.1), (印刷中).

[6] 伊藤、日本宇宙フォーラム公募地上研究“減酸素環境を利用した微小重力火災の模擬による火災安全性評価法の研究”, <http://www4.jsforum.or.jp/public/theme/h17.html>

[7] 高橋、日本宇宙フォーラム公募地上研究“固体試料上の火災伝播限界に与える外部環境の影響に関する研究”研究概要, <http://www4.jsforum.or.jp/public/report/index.html>