

## 微小重力環境を利用した固体燃焼現象検討 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 法政大学 岡島 敏 名古屋大学 梅村 章 岐阜大学 高橋周平

### WG report on Solid Combustion in Microgravity

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>, Satoshi Okajima<sup>4</sup>, Akira Umemura<sup>5</sup>, Syuuhei Takahashi<sup>6</sup>

1:Hokkaido University, 2:JAXA, 3:Hirosaki University 4:Hosei University

5:Nagoya University 6:Gifu University

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

Abstract: Since solid combustion, which has long time scale, is dominated by diffusion process of pyrolyzed gas, 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 attained previously as well as future expected subjects regarding fire safety in space will be introduced. Because individual physical processes included in the solid combustion have different time scale, combination of short-term and long-term microgravity experiments is requisite to proceed the research on solid combustion in microgravity.

Key words: Combustion, Solid Material, Fire Safety, Microgravity Experiment

#### 1. はじめに

燃焼現象は、局所的な発熱にともなう急激な密度変化を生じるため、重力が現象に強い影響を与える。なかでも固体燃焼はその時間スケールが長く、しかも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ことから、能動的に制御できない自然対流の存在下での現象解明が難しく、微小重力環境の活用により研究の進展が期待される研究対象である。

固体の燃焼そのものは産業の分野では石炭やバイオマス燃料の燃焼・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、火災現象に係わる燃焼現象はほとんどが固体の燃焼である。宇宙開発に関連するもので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さらなる向上が求められている。

本報告では、特に宇宙火災安全性に関連した微小重力燃焼研究の例を紹介するとともに、今後の固体燃焼に関する短時間および長時間微小重力研究の方向性について述べる。

#### 2. 固体燃焼研究の例

宇宙火災安全性に関し最も重要かつ現実的な課題は電気系統の火災であり、これまで微小重力下における電線の着火、燃え広がりに関する研究を実施してきた。宇宙火災安全性の研究で焦点となるのは“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”である。この点を明らかにするには、周囲の流速を徐々に変化させながら資料の燃焼性を観察することが効果的である。

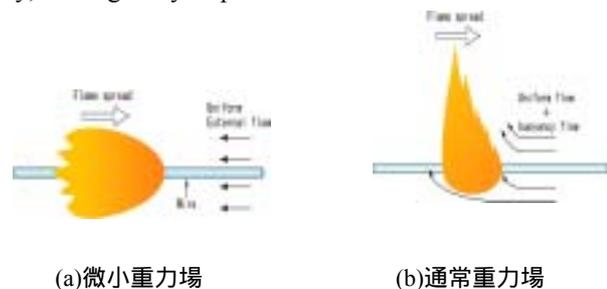


図1 電線を燃え広がる火災の概念図

これにより、周囲対流が小さい微小重力条件での燃焼性を予想できる現象のモデル化が可能となる。しかし、地上でこのような試験を行おうとしても、図1(b)に示すように燃焼に伴う自然対流が発生し、低流速条件での観察が全くできない。微小重力場では、与えた強制対流流速がそのまま周囲流速になるので、流速に対する燃焼性の変化を正確に取得できる。

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。地上で自然対流により引き起こされる流速条件は極大を与える流速条件よりはるかに大きく、微小重力下において低速の換気流の存在するような条件がこれに相当する。しかし、数値計算の結果から、現象が10秒間では定常に到達していない可能性が示唆されており、この流速依存性をより長時間の微小重力実験により取得することが必要

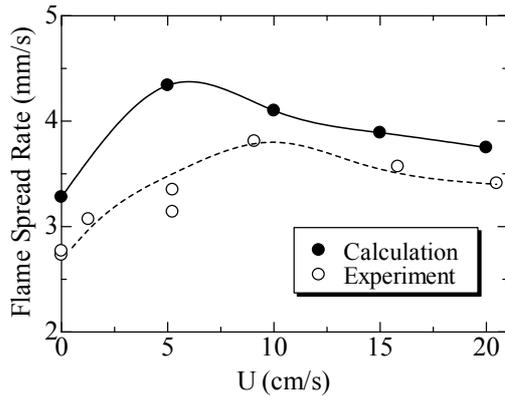


図2 電線被覆表面の燃え広がり速度と周囲流速[1,2]  
 (酸素濃度 35%, 試料:ポリエチレン被覆導線、心線材質  
 ニクロム線、外径 0.8mm、心線径 0.5mm、実験は地下無重  
 力実験センターで実施、数値計算は流速を固定して着火  
 から 5 秒後の燃え広がり速度)

である。また、極大値が発生する流速条件が計算  
 と実験で必ずしも一致していないが、この点をよ  
 り正確に予測するには低流速条件での火災放射モ  
 デルおよび放射と直接関連するすす生成特性に関  
 する検討が今後必要と考えられる。

類似の研究として、図5に示すような材料の可  
 燃酸素濃度条件の検討がある[3]。この図では、流  
 速条件ごとに定常的な火災伝播が実現できる最低  
 酸素濃度(LOI)を数値計算に基づき検討している。

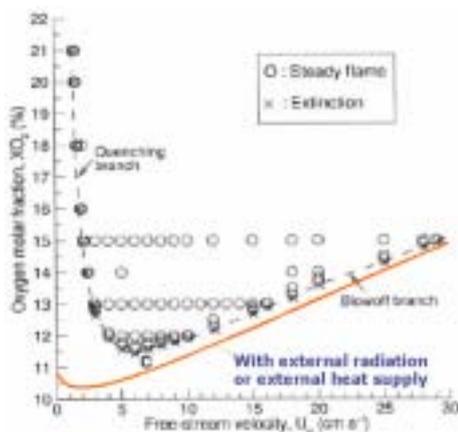


図3 周囲流速と可燃酸素濃度範囲(T'ien らによ  
 る数値計算に基づく結果,[3])

この結果からも、低流速で最も可燃範囲の広い条  
 件の存在することが示唆されている。

この他に、火災安全性に重要な課題として、着  
 火の問題がある。例えば、電気回路で短絡が生じ  
 たときの発火の問題である。図3は、微小重力下  
 で電線に過電流を供給し、そのときの着火挙動を  
 観察したものである。過熱により被覆が熱分解ガ  
 スを発生するが、これが試料近辺に滞留するため



図4 電線の短絡による被覆の着火(図2と同一試料,  
 15.0A, 21%O2)[4]

着火確率が高くなることが示唆されている。

### 3. 今後の研究課題

火災安全性の中で、前述の着火・燃え広がり現  
 象に関して、以下のような研究課題への取り組み  
 が期待される。

- ・ 減酸素下での燃焼 - 燃焼開始後の雰囲気酸素  
 濃度の低下と燃焼の継続、LOI の特定など。
- ・ 外部放射加熱の燃焼性への影響 - 燃え広がり  
 の流速依存性、LOI の拡大。
- ・ 惑星大気条件での燃焼 - 将来の月面基地、火星  
 基地を想定した大気組成・圧力での燃焼性
- ・ すすの生成と放射強度 - 低流速条件でのすす  
 生成特性と関連づけた燃え広がりモデル構築
- ・ 熔融液の挙動 - 燃え広がり現象に対する影響
- ・ 重力条件が着火確率に及ぼす影響

### 4. 実験手段

固体の燃焼現象は、種々の時間スケールを有す  
 る。着火現象は、数秒～数十秒、燃え広がり、  
 数十秒から数分を要する。従って、実験を行うに  
 は、その特性により実験施設を使い分けることが  
 重要である。期待される実験施設として、(1)  
 数秒の微小重力実験設備(落下塔)、(2)中間  
 的な重力を与える可変重力実験設備(衛星・惑星  
 の条件を想定)、(3)数分間の微小重力実験手  
 段、(4)数日間の軌道上実験、が考えられる。

### 5. まとめ

固体燃焼は、その特性から微小重力の利用が極  
 めて効果的な研究課題である。また、固体燃焼を  
 構成する個々の物理過程は十分に解明が進んでお  
 らず、今後複数研究者の協力による研究の進展が  
 期待される。

[文献][1] 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.320-321.

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

[3] Ferkul, P.V., and T'ien, J.S., Combustion Science and  
 Technology, vol.99, pp.345-370.

[4] 野田、藤田、機械学会年次大会予稿集、東京、2005.9.  
 (MECHJ-05), Vol.5, (2005-9), pp.459-460.