

微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究 (H22 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
明石高専 池田光優、KAUST Suk Ho Chung, NASA Sandra L.Olson

Solid Combustion Research in Microgravity (2010 Research WG Report)

Osamu Fujita¹, Yuji Nakamura¹, Harunori Nagata¹, Masao Kikuchi², Akihiko Ito³, Hiroyuki Torikai³, Akira Umemura⁴, Shuhei Takahashi⁵, Mitsumasa Ikeda⁶, Suk Ho Chung⁷, Sandra L.Olson⁸
1:Hokkaido University, 2:JAXA, 3:Hirosaki University 4:Nagoya University 5:Gifu University, 6:Akashi Technical College of Technology, 7:KAUST, 8:NASA

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

Abstract: Since solid combustion is dominated by diffusion process of pyrolyzed gas as well as heat transfer process around the combustion region, flammability limit becomes very different depending on the gravitational conditions. In the present work, an attempt to know the mechanism of the extension of ignition limit of overloaded wire has been made by numerical calculation. The results showed that the Joule energy more than a critical value causes release of degradation gas and its ignition, and the critical value becomes smaller in microgravity than that in normal gravity. Further, the preparation status of the ISS experiment including the wire ignition and flame spread over solid material is 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(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、ISS きぼう第2期利用後半テーマ募集へ提案し、2010年3月に候補テーマとして採択された。本年度は、この実験の具体化に関する検討を行った。

2. 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が微小重力場において大幅に低下すること、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の時間遅れを持って着火する場合のあること、さらに短時間通電の場合この着火の限界を与える数値として最小着火エネルギーが存在するこ

となどが示されている。また、微小重力下では、この最小着火エネルギーが大幅に低下し、過電流時の電線発火のリスクが高くなることが示されている[1-3]。

Fig.1は、電線への通電時間を変化させたときの、着火に至る通電エネルギーを調べた結果である。この図から分かるように、通電時間によらず着火に至る下限エネルギーは微小重力環境の方が大幅に小さく、またその値は通電時間によらず比較的一定であることが分かる。

本年度は、この最小着火エネルギーが存在する要因を探るため、数値計算に基づく検討を行った。電線は、軸方向に十分長いと考え電線を中心とする円筒座標系での熱分解ガス、酸化剤、温度、発熱量の分布を数値的に求めた。対象とした試料はニクロム心線にポリエチレンを被覆した電線で、外径0.8mm、心線径0.5mm(PE#2と呼ぶ)である。

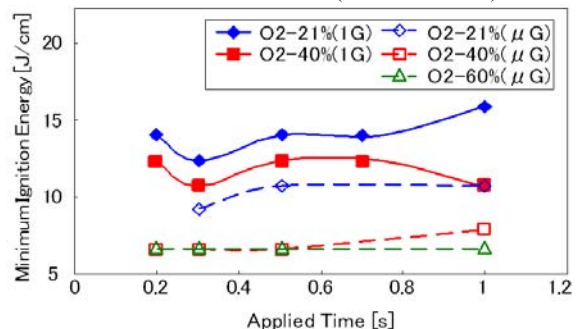


Fig.1 Presence of minimum ignition energy (W), of PE insulated wire vs. current applied time ($W=I^2Rt$, I=applied current, R: resistance per unit length, t: applied time, PE#2)

Fig.2,3 は着火に至る場合($I=15.6A$)の計算例で、それぞれ電線表面を原点として半径方向温度分布および熱発生率(HRR)の分布を示している。この図に見られるように、温度分布は試料からある距離離れた位置で徐々に増大し、極大値を持つようになる。これに対応して温度が上昇する位置でHRRが増大し、この後着火に至る。

一方、Fig.2 よりわずかに電流値を低下させると($I=15.45A$)、着火が生じなくなる条件が現れる。このときのHRRを示したのがFig.4である。この場合でもFig.3と同様に試料からある距離離れた位置で極大値を示す。ここでは示していないが、温度分布もFig.2と同様にある位置で極大を示す。

ここで着火の有無が何により決定されているかを考察する。局所的発熱が生じ温度が極大値を持つと、その位置で周囲に大きな温度勾配が生じる。この温度勾配により発生する熱損失が局所的HRRを下回っていること、すなわちSemenovの着火条件が満たされていることが必要と考えられる。Fig.2の場合はこの条件が満たされ着火に至るが、Fig.4の場合、これが満たされずある時間経過以降は

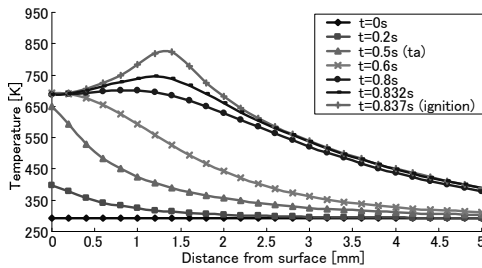


Fig. 2 Temperature distribution of gas phase (μG , 100kPa, $t_a=0.5s$, 40% O_2 - N_2 balance, 15.6A, Ignition delay time 0.837s)

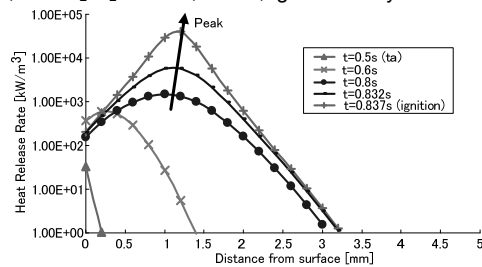


Fig.3 Heat Release Rate distribution of gas phase (μG , 100kPa, $t_a=0.5s$, 40% O_2 - N_2 balance, 15.6A, Ignition delay time 0.837s)

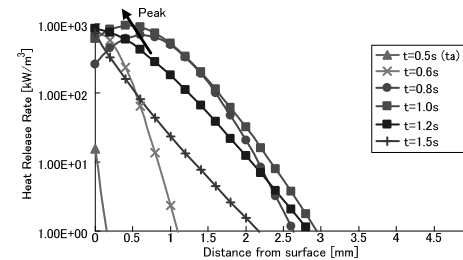


Fig.4 Heat Release Rate distribution of gas phase (μG , 100kPa, $t_a=0.5s$, 40% O_2 - N_2 balance, 15.45A, no ignition)

温度が低下に転ずると考えられる。この着火条件は、発熱部分近傍の温度勾配が支配的影響を与えるため、対流の存在しない微小重力場でより達成されやすい。この点に関しては、空間的なDa分布などにに基づき今後さらに検討を進める計画である。

いずれにしても、このような着火の本質的な限界条件を議論するには、特定の温度および濃度分布を静止した状態で長時間にわたり維持することが求められ、このためには長時間微小重力実験が極めて効果的である。

3. きぼう船内実験室第2期利用(後半)実験に関する検討

表記公募に対し、本WGより固体燃焼の着火および消炎に関する課題提案を行い、これが候補テーマとして採択された。ここに含まれている項目は、①電線被覆の着火現象(前節参照)、②電線被覆燃え広がり限界と非定常性、③シート状試料の燃え広がり消炎現象である。いずれも固体表面の燃焼現象に関わるものであり、共通の固体燃焼実験装置で実施可能である。

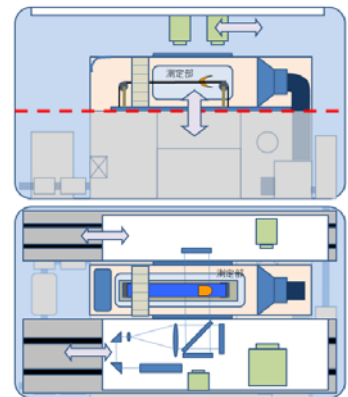


Fig. 5 Schematic description of experimental set-up for ISS tests



Fig.6 Direct picture of the set-up

Fig.5は開発中の装置概略図、Fig.6は装置直接写真である。装置の下段が燃焼室内ガス組成制御装置や試料自動送り機構等の機能を持っており、上段側が実験を行う風洞部となっている。この風洞内での現象を側面の窓から光学計測により観察する。今後、本装置により地上予備試験を繰り返す、軌道上実験に必要な計測系等の開発を進める計画である。

[文献] [1] 阿形他 4 名, JASMA 誌論文, 微小重力環境下における被覆導線の通電着火特性, Vol.25, No.1, pp.11-16, (2008.1).

[2] O.Fujita, et al., Ignition of Electrical Cable Insulation with Short-term Excess Electric Current in Microgravity, Proc. Comb. Inst. Vol.33, Issue2, (2011), pp.2617-2623.

[3] 藤田他 7 名, 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)、宇宙利用シンポジウム (第 26 回), (2010.1.25), pp.55-56.