

微小重力環境を利用した固体燃焼現象研究 (H23 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 (2011 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: Ignition of short-circuited electric wire with polyethylene insulation has been investigated experimentally and computationally. Limiting oxygen concentration (LOC) is determined in normal and micro gravity for short-term excess current supply. The results showed that the LOC decreases with increase in total Joule energy for 1.0sec current supply and is much lower in microgravity than normal gravity. According to the numerical calculation it is shown that the LOC is determined by the ignition delay time corresponding to the oxygen concentration, which should be shorter than diffusion time determined by the initial thickness of fuel layer as a result of polyethylene pyrolysis.

Key words; Combustion, Solid Material, Flame Spreading, Ignition, Microgravity experiments

1. はじめに

固体燃焼現象研究WGでは、固体燃焼に関わる微小重力研究を推進するとともに、将来的な長時間微小重力実験課題の創出に取り組んでいる。とくに宇宙火災安全に関わる基礎データとして、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定量的に評価しようとしている。

また、本WGから提案した課題の一部は、ISS第2期利用後半テーマとして採択されており、本年度はこの実験の軌道上実験装置に関する装置および科学面に関する議論を進めた。Fig.1は、その活動の1例で、昨年12月に燃焼学会と合同で実施したワークショップの様子である。参加者は60名程度で、



Fig.1 Workshop on microgravity combustion (2011.12.5 Japanese Combustion Symposium)

2. 固体燃焼の研究成果の例

ここでは、固体燃焼現象WGの研究例として、

電気配線の着火現象に関する研究について述べる。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で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、さらに短時間通電の場合この着火の有無を決定するものとして、最小着火エネルギーが存在することなど示されている。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]。

本年度は、着火が生じる下限酸素濃度(以下 LOC と呼ぶ)について実験的および数値的検討を行った。Fig.2 は本研究で標準試料とした PE#2(心線 NiCr, 被覆材質 PE, 試料外径 0.8mm, 心線径 0.5mm)を用い、通電時間を1秒に限定した上で、各通電電力量に対する LOC を求めた結果である。微小重力実験は北海道赤平市のコストレー(微小重力

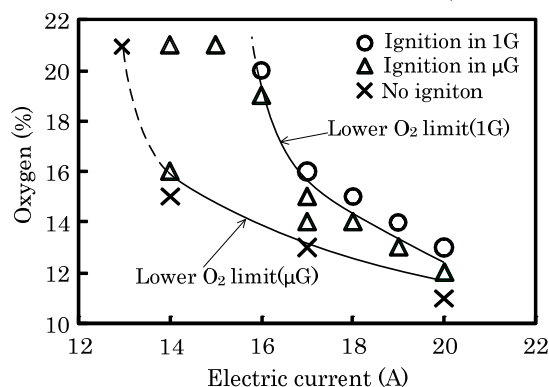


Fig.2 Limiting oxygen concentration for each current value

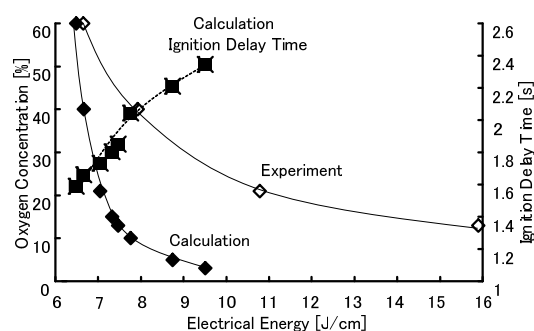
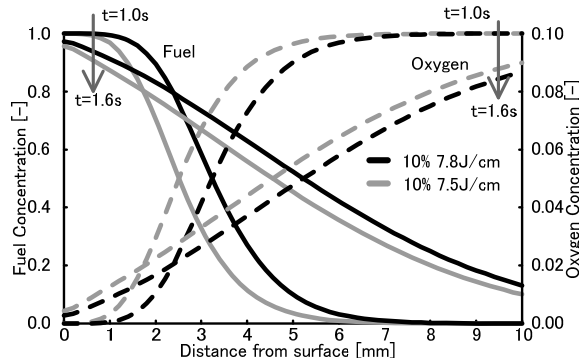
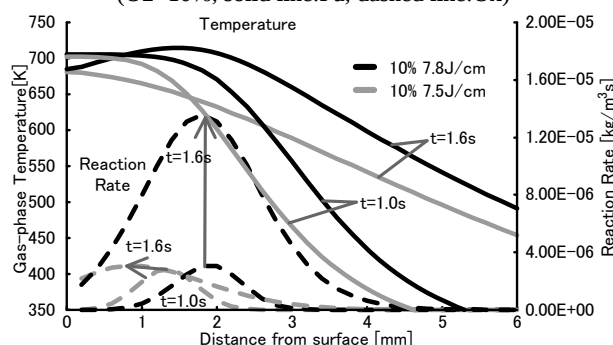


Fig.3 Ignition limit and ignition delay time (calculation)

Fig.4 Fuel and oxygen concentration distribution
(O2=10%, solid line:Fu, dashed line:Ox)Fig. 5 Temperature and Reaction Rate Distribution
(O2=10%, solid line:Temp., dashed line:RR)

時間:2.7s,重力条件約:1x10⁻³g₀)を使用した。LOC は、微小重力場で大幅に小さくなり、特に低電流条件で重力条件による差が大きくなる。

Fig.3 は、通電時間 1 秒の間に与えた電線の単位長さあたりの電力量 (J/cm) に対し、LOC を数値計算により求めた結果で、微小重力場における実験結果を合わせて示している。LOC の絶対値は実験結果に比べかなり小さくなっている。これは、計算において輻射熱損失を無視している一方で、実験では微小重力の継続時間に制限があることなどが要因と考えられる。しかし、傾向は定性的に一致しており、計算は着火に関する基本的特性を捉えていると考えられる。この計算コードをもとに LOC が決定される機構について検討したのが Fig.4,5 である。これらの図では、酸素濃度を 10% に固定し、着火限界の電力量より僅かに大きい条

件(7.8J/cm)と小さい条件(7.5J/cm)を比較した。Fig.4 から電力量の違いは、通電開始 1 秒後の燃料層の厚さに明確に現れる。すなわち、7.8J/cm の場合が Fuel の分布がより遠くまで達していることがわかる。これは、試料からの熱分解ガス放出量が、与えられたジュール熱に応じて発生した結果である。これに対応し、周囲から拡散する空気が試料表面に到達するまでの時間も長くなる。一方、Fig.5 に見られるように試料から放出された熱分解ガスは周囲空気と混合して発熱反応が進行しゆっくりと温度上昇が進む。この温度上昇がある値に達すると反応速度が急激に増大し着火に至る。この着火に至るまでの時間を着火遅れと定義すると、これが上で述べた周囲空気の試料表面までの拡散時間と競合する。すなわち、着火に要する時間が拡散に要する時間より短ければ着火に至る。従って、初期の燃料放出量が大きくなると拡散時間が長くなり、LOC を小さくすることができる。

4. きぼう船内実験に関する検討

本 WG で提案を行った固体燃焼の着火および消炎に関する提案がきぼう船内実験室第 2 期利用後半テーマ候補テーマとして位置づけられている。ここに含まれる課題は、①電線被覆の着火現象、②電線被覆燃え広がり現象、③シート状試料上の燃え広がり速度と消炎現象である。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現可能である。

Fig.6 は、本年度新たに制作した装置の外観図で、装置下段が燃焼室内ガス組成制御や試料自動送り機構等の機能を有し、上段側は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し、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。



Fig.6 Solid combustion chamber

御や試料自動送り機構等の機能を有し、上段側は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し、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、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] O.Fujita, T.Kyono, Y.Kido, H.Ito, Y.Nakamura, Proc. Comb. Inst. Vol. 33, Issue2, (2011), pp.2617-2623.
[3] 藤田他 10 名, 第 27 回宇宙利用シンポジウム講演論文集, (2011.1), pp.31-32.