

火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価 -ISS/JEM 実験に基づく新しい火災安全基準の構築-

北海道大学 藤田 修

Evaluation of solid material flammability in microgravity as a basis for fire safety in space -building up a new fire safety standard based on flight experiments in ISS/JEM-

Osamu Fujita*, *Hokkaido University, E-Mail: ofujita@eng.hokudai.ac.jp

Abstract: An attempt to build up new fire safety standard for screening material intended to use in spacecraft is made under FLARE (Flammability Limits at Reduced Gravity Experiment) project to utilize ISS Kibo. The main target of the FLARE is to enable to estimate MLOC (Minimum Limiting Oxygen Concentration in microgravity) based on LOI (Limiting Oxygen Index) according to ISO4589-2. The main challenges are to build up formula to estimate the difference of LOC in 1G and μ G as well as estimation of the effect of material thickness. The formula to be provided by FLARE will be verified by flight experiments on Kibo. In the present article, the background and research target of FLARE is described.

Key words; Combustion, Solid Material, Fire Safety in Space, Microgravity experiments, FLARE

1. はじめに

有人宇宙活動において火災安全性の確保は最優先事項の一つである。宇宙船内の火災安全性を確保するうえでの第1段階としては、船内に持ち込む材料を火災安全の観点から選別する必要がある。このために、現在広く用いられている標準試験法が NASA-STD-6001B[1]に規定されている Test1(平板試料の燃焼性試験)および Test4(電線の燃焼性試験)である。この試験法は、既に長い歴史を有し、実際に宇宙火災安全性確保へ大きく寄与してきたものであるが、一方でこの試験法に由来する課題(次節で記述する)も指摘されている。そこで、JAXA 第3期利用重点テーマ「火災安全性向上に向けた固体材料の燃焼現象に対する重力影響の評価」(以下、通称である”FLARE”と呼ぶ)においては、従来の NASA 標準試験法に代替可能な新たな安全基準構築の検討を進めている。本稿ではこの概要を紹介する。

2. 現行の標準試験法の課題

現行の火災安全性判定標準試験法の例を Fig.1 に示す。左右2本の垂直に立てられたホルダの間にある幅5cm、高さ33cmの空間に、使用時に想定される厚みの平板状試料を固定し、その下端に特殊なイグナイターにより着火を行う。着火後、試料が15cm以上上方へ燃え広がった場合、および試料から燃焼残さが落下し装置の下側に敷かれたK-10紙に着火が生じたような場合、試料は不合格となる。これまで長い歴史のある試験法であるが、この試験法には本質的に以下のような課題が存在している。

まず第1に、本試験自体は通常重力下で行われ

るものであるが、もし微小重力場のほうが材料の燃焼性が高い場合、この試験法による判定は必ずしも安全側の判断を与えるものとはならない。たとえば、平板状試料ではないが、Fig.2は電気配線被覆上を燃え広がる火炎が維持できる限界酸素濃度条件を通常重力場および微小重力場で調べた例である[2]。試料は、心線径0.5mm、試料径0.8mmのポリエチレン被覆電線である。この結果をみると、火炎が維持される酸素濃度は微小重力場の方が常に低くなっており微小重力場の方が燃焼性が拡大していることが分かる。これ以外にも多くの研究者により微小重力場で燃焼性が高くなる例[3]が指摘されており、通常重力場での試験が必ずしも安全側の判定とならないことは、研究者の間では共通の認識となっている。

第2の問題点は、本試験法は Pass/Fail テストであり、個別のケース毎に材料の使用可否を判定す

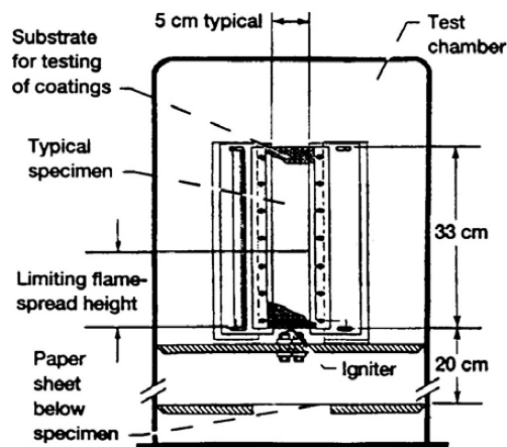


Fig. 1 Experimental configuration for the upward flame propagation test (Test 1) of NASA-STD-6001B [1].

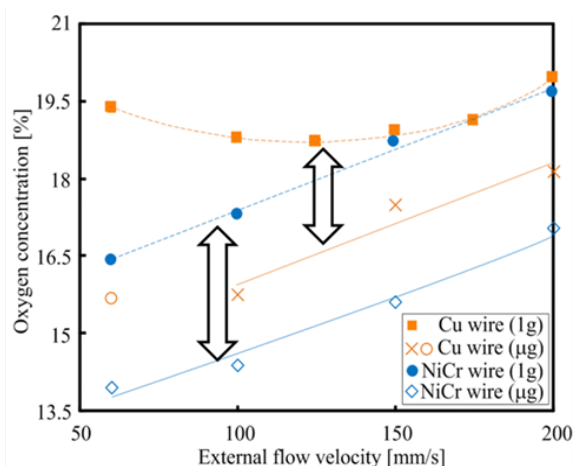


Fig. 2 Limiting oxygen concentration of spreading flame over polyethylene insulated wire as a function of external air flow velocity in 1G and μ G. [2].

るものであることである。すなわち、使用環境が変わったり、使用する材料の厚みが変わるような場合は改めて試験を行わなければならない。これは、一見当然のこのように思われるが、地上では材料の難燃性指標(たとえば ISO4589-2 による LOI (限界酸素指数) [4])に基づいて判断が行われており、個別の建築物や使用条件毎に安全性判定試験を行う必要はない。したがって、LOI のような指標に基づく判定が可能となれば、コスト削減や民間の宇宙船開発の障壁を低減する上で大きなメリットを与えることになる。

また、3点目として、現行の標準試験法自体が NASA や JAXA の有する試験装置の使用を前提としており、材料メーカーが新規参入を希望するような場合には大きなハードルとなる。したがって、例えば地上で広く普及している試験法が、現行の NASA 標準試験法に代替可能であることが示されれば材料の供給者にとっても大きな利点を与える。

3. 新たな材料燃焼性判定基準の検討

前節の課題を考慮し、地上で広く普及した試験法に基づく燃焼性判定基準を提案することが FLARE プロジェクトの大きな目標となっている。基本となる材料難燃性指標としては前項でも触れた ISO4589-2 に基づく LOI 値を用いることを検討している。この指標は特定形状(標準試料寸法として断面形状が 10mm × 4mm, 長さが 80 ~ 150mm 程度のもの)の試料を垂直に立てた状態で上端に着火を行い、その後下方へ燃え広がる火炎が維持できる下限の酸素濃度を与えるものである。ただし、この試験法自体も通常重力場において実施されるものであるため、微小重力場における燃

焼限界の拡大を考慮した補正を行う必要がある。以下の式がその概念である。

$$(O_2)_{in\ spacecraft} < MLOC = \{f(t) \times (LOI)_{1G}\} - K_a$$

上式において、MLOC が微小重力場における限界酸素濃度条件、 $(LOI)_{1G}$ は ISO4589-2 に基づいて与えられる限界酸素指数であり、 $f(t)$ が試料厚みの補正関数、 K_a が通常重力場と微小重力場での火炎を維持できる限界酸素濃度の差である。これにより新たに与えられる指標 MLOC を宇宙船内の酸素濃度と比較しようとするものである。

ここで大きな課題は、厚みの補正関数 $f(t)$ および重力条件により限界値の差 K_a を与えることである。まさに、この点が FLARE プロジェクトの最大研究課題である。現在、以下に示すような研究チームで作業分担を行い上式に必要な理論モデル構築、これを検証するための ISS 実験準備および対応する地上試験を進めている[5]。

研究メンバー (◎PI, ○Group 代表)

Group1 (平板状試料の 1G と μ G の差を与える物理)

○高橋周平 (岐阜大), 鳥飼宏之 (弘前大),
Sandra L. Olson (NASAGRC)

Group2 (電線試料の 1G と μ G の差を与える物理)

○C. Fernandez-Pello (UC Berkeley)
◎藤田 修 (北大, Gr.3,5 を兼任), 橋本 望(北大)
Guillaume Legros (UPMC)

Group3 (熱分解ガスの着火現象) ○津江光洋 (東大)

Group4 (LOI データ取得と試料厚み影響の定式化)

○中村祐二 (豊橋技科大), 細貝亜樹(JAXA),
若月 薫 (信州大)

Group5 (ISO 提案の議論, NASA-STD による地上試験)

○Harold D. Beeson, David Hirsch (NASA WSTF)
島村宏之(JAXA), Thomas Rohr, Marika Orlandi (ESA ESTEC)

Group6 (フライト実験装置の検討) ○菊池政雄 (JAXA)

4. まとめ

本報告では、現在進行中の FLARE についてその背景と研究概要を報告した。その中で、通常重力場でのデータから微小重力場での限界条件を予測する部分が最大の課題であり、これに答えを与えるには燃焼現象の深い科学的理解が不可欠である。この点を考慮しながら、研究を鋭意推進している。

【文献】 [1]NASA-STD-6001B (2011).

[2] Takahashi, S., Ito, H., Nakamura, Y., Fujita, O., *Combustion and Flame*, **160**:1900-1902 (2013).

[3]例えば Fujita, O., *Proc. Combust. Inst.*, **35(3)**:2487-2502 (2015).

[4] ISO4589-2 (1996), *Plastics -Determination of burning behavior by oxygen index-*.

[5]「きぼう」利用重点テーマ「FLARE」特集号, IJASMA, 32 (4) (2015).