

微小重力場における電線被覆上燃え広がり火炎の燃焼限界を支配する因子

北海道大学 藤田 修

Effective parameters controlling flammability limit of spreading flame over wire insulation under microgravity

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 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 challenge in the project is to build up formula to estimate the difference of LOC in 1G and μ G. 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 focusing on the part of wire insulation combustion.

Key words; Flammability limit, Electric wire insulation, Fire safety in space, ISS experiments

1. はじめに

宇宙船内における火災発生要因はほぼ電気火災に限られると言っても良い。火災発生のシナリオとしては、電気回路の短絡等により発火が生じ、これが電線被覆等のプラスチック材を延焼するような状況が考えられる。したがって、宇宙船内の火災安全性を確保するには、電線被覆の難燃性を評価し、船内に持ち込む電線被覆材料を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 Test4 (電線被覆の燃焼性試験)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特に電線燃焼性試験に焦点を当て紹介する。

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。被覆電線を垂線に対して15度の角度で固定し、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、および試料から溶融した被覆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、Fig.2は異なる外部放射加熱強度条件のもとで、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(LOC)が通常重力場と微小重力場でどのように異なるかを調べた例である[2]。試料は心線径 0.5mm、試料径 0.8mm の ETFE 被覆電線であり、周囲に 12cm/s で流れを与えている。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通常重力場に比べ 6%程度低下している。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

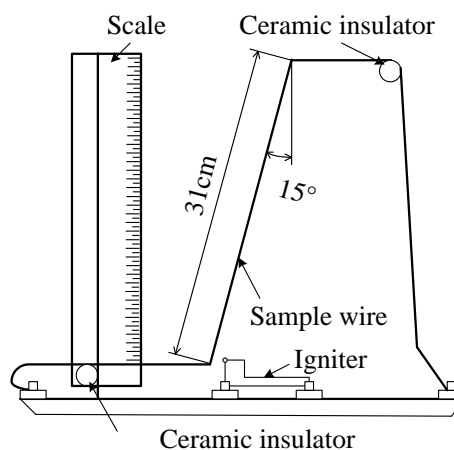


Fig. 1 Experimental configuration for the upward flame propagation test (Test 4) of NASA-STD-6001B [1].

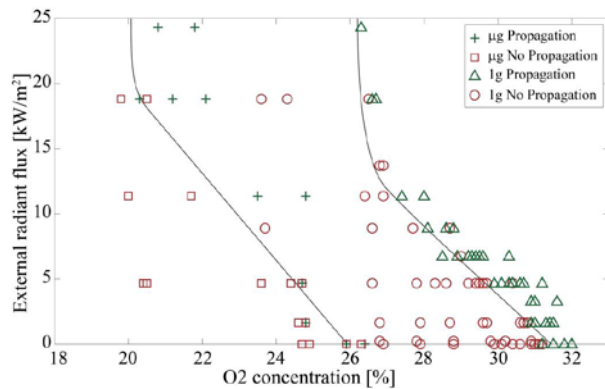


Fig. 2 Difference of LOC for spreading flame over ETFE insulated wire (core: Cu) in 1G and μ G under different external radiation heat flux. [2].

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、使用する場所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、一見当然のことのように思われるが、もし材料に難燃性指標(たとえば ISO4589-2 による LOI (限界酸素指数) [4]) を与えることができるのであれば、適用対象となる宇宙船が変わってもこの指標と宇宙船内の酸素濃度の相互比較により材料の使用可否を判断することができる。この結果、電線の使用可否判別に対するコストの低減が可能となる。

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. 電線被覆の燃焼限界を支配する因子

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。基本となる試験法としては前項でも触れた ISO 4589-2 に基づく LOI 法を想定する。この試験法は適当な形状のプラスチック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。しかし、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。また、この試験法はもともとプラスチック材料を対象とするものであり、電線は心線が存在していることから、その影響を適切に評価する必要がある。これ以外にも電線の太さ影響、断面形

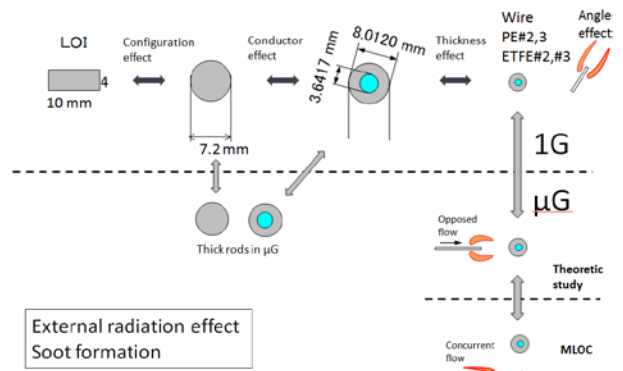


Fig. 3 Effective parameters affecting the flammability of electric wire insulation.

状が円形であることの影響、微小重力場における周囲流動の影響、など ISO4589-2 に基づく LOI 試験法に基づいて電線の燃焼限界を推測するには多くの因子の影響を明らかにする必要がある。

最終的には、以下の式に示すように、材料の難燃性指標である LOI 値に基づいて微小重力場における難燃性指標を次式のような MLOC 値として与えることが目標である。この式において、MLOC

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

は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、 $f(t)$ が心線材質および試料厚み影響の補正関数、 K_a が通常重力場と微小重力場での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。FLARE プロジェクトの範囲では、地上試験により対象とする電線の限界酸素濃度(すなわち $f(t) \times (LOI)_{1G}$) を求め、これを微小重力場へ換算する手法の確立(すなわち K_a の定式化)を最低限の到達目標として研究を進めている。

4. まとめ

本報告では、現在進行中の FLARE について電線燃焼に関する内容を中心として、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手法の確立が大きな課題であり、燃焼現象の科学的理解を深めながらこの点に取り組んでいる。

【文献】 [1]NASA-STD-6001B (2011).

[2] A.F. Osorio, K. Mizutani, C. Fernandez-Pello, O. Fujita, Proc. Combust. Inst. 35 (2015) 2683–2689.

[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-.