

様々な重力環境下の固体材料火災安全性評価手法の構築

※本研究はJKA(競輪)の補助事業により実施しました。

1 研究の概要

本研究代表者らの研究グループは、国際宇宙ステーション(ISS)の「きぼう」実験棟利用重点課題テーマ「FLARE」プロジェクトにより、微小重力における固体材料の火災安全性についての研究を進めてきた(2022年から国際宇宙ステーションでの軌道上宇宙実験開始)。しかし、日本も参画が決まっているArtemis計画では月面基地の建設が見込まれており、月面基地は地球上の通常重力や宇宙船内の微小重力のどちらとも異なる重力環境であり、そのような環境下における火災安全性の研究は進んでいないのが現状である。本研究では、固体燃料の燃え広がり試験部を円筒型筐体に搭載し、円筒型筐体を回転させることで異なる重力環境を再現できる実験装置を新規に開発した。開発した装置を用いて、様々な重力レベルにおける固体材料の燃え広がり実験を行うと共に、実験を再現する数値シミュレーションも実施した。実験結果を用いて数値シミュレーションの精度検証を行うとともに、数値シミュレーションにより、回転筐体内の浮力流れに作用するコリオリ力を再現する数値シミュレーションの実施に成功した。今後、本研究代表者が研究代表を務めるJAXA「きぼう」フジビリティスタディ(FS)の研究成果と合わせて重力レベル影響のモデル化の精度を高め、有人宇宙活動に使用する材料の新しい火災安全評価手法確立を目指す。本研究は、これまで宇宙船内の微小重力環境下における固体材料の火災安全性についての研究を、月面基地や火星面基地など、異なる重力レベルにおける火災安全性についての研究へ拡張する新規性の高い研究である。

2 研究の目的と背景

米国が主導し、日本も参画している有人宇宙プログラム、Artemis計画では、長期間の宇宙での移動、月面基地の建設や火星での有人活動までが含まれている。このような有人宇宙計画において重要な課題の一つは火災安全の確保であり、国際宇宙探査共同グループ(ISECG)におけるロードマップにおいても、微小重力・低重力環境下における固体材料の火災安全性は最重要課題として認識されている。有人宇宙活動における火災の要因はほぼ電気系統に限定される。国際宇宙ステーションや宇宙船の内部には多数の電線・ケーブル類が存在し、電線に使われる材料はこれまでNASAが策定した試験法をパスしたものが使われてきた。しかし、この試験法は地上で行われ、宇宙船内のような微小重力環境の影響が正しく評価されていない。

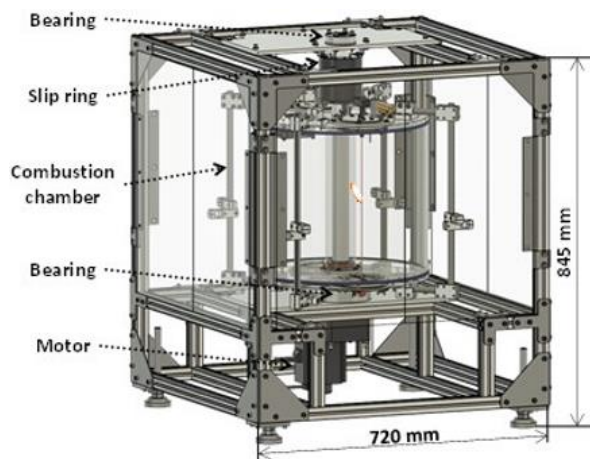
そこで、申請者らの研究グループはJAXA「きぼう」第3期利用重点課題「FLARE」プロジェクトにより、科学に基づいた宇宙船に使用する固体材料の新しい火災安全基準の策定を目指して研究を続けている。これまでの申請者らの航空機を使用したパラボリックフライトによる短時間微小重力実験により、自然対流の影響が無い微小重力環境においては、電線燃え広がり火災の形状

が通常重力環境下とは大きく異なり、火災安全性が低くなること等を明らかにしてきた。しかし、月面や火星面等、通常重力とも微小重力とも異なる重力環境下における火災安全性については未だ明らかになっておらず、今後の有人宇宙計画を見据えて研究を実施する必要がある。

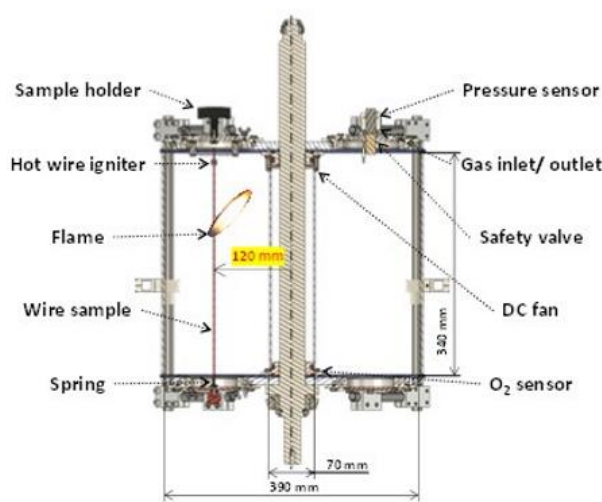
3 研究内容

(1) 様々な重力環境下における固体材料火災安全評価用実験装置の開発
(<http://lsu-eng-hokudai.main.jp/project/>)

本研究では、様々な人工重力レベルにおける固体材料の燃え広がり実験が可能な重力可変固体材料燃え広がり実験装置を開発した。開発した実験装置を用いて電線模擬試料の燃え広がり実験を行い、人工重力レベルが燃え広がり火炎に与える影響を明らかにした。回転系を用いた人工重力場においては、燃え広がり火炎は浮力の影響を受けて回転軸方向に傾くだけでなく、コ

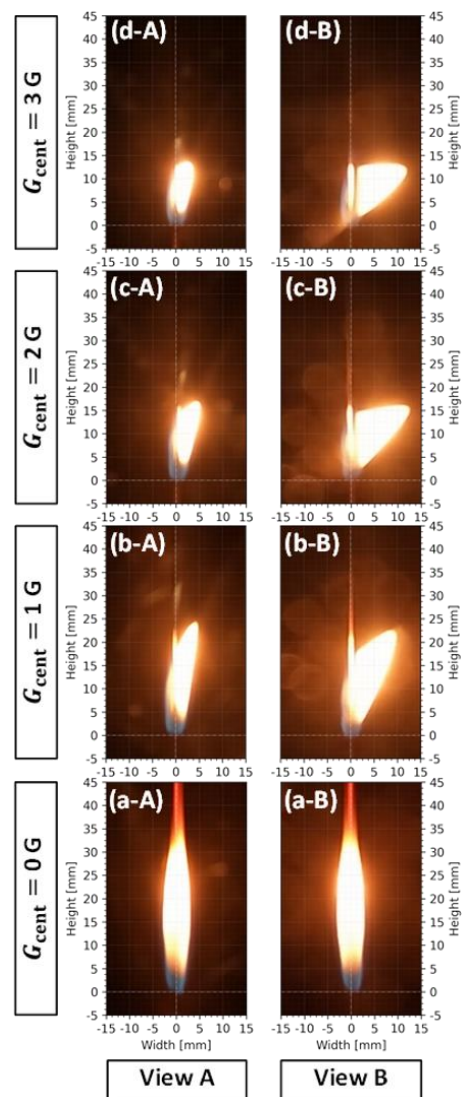


(a) Overall view



(b) Combustion chamber

開発した実験装置

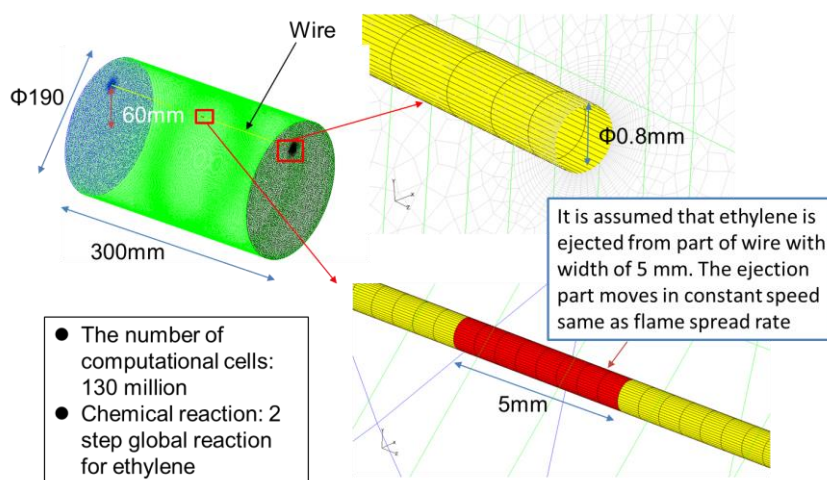


電線燃え広がり火炎の画像

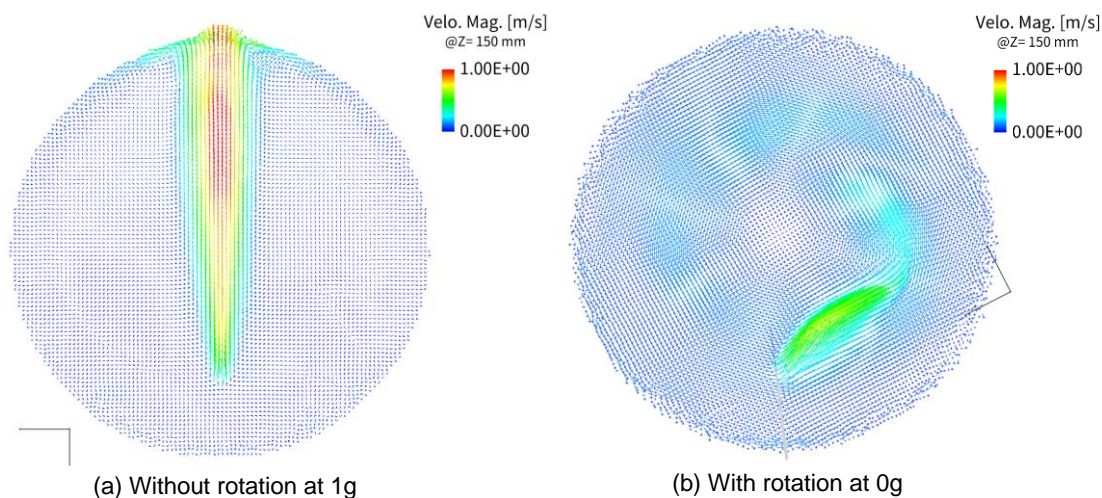
リオリカの影響を受けて回転の周方向にも傾くことが明らかとなった。将来国際宇宙ステーションにおいて実施を検討している固体材料の燃え拡がり実験においても、同様の現象が起こると考えられ、人工重力の影響とコリオリカの影響の複合的な影響を考えた宇宙実験データの解釈が必要になることが分かった。

(2) 宇宙実験を模擬した燃え拡がり火炎数値シミュレーション
(<http://lsu-eng-hokudai.main.jp/project/>)

本研究では、宇宙実験を想定した大きさの定容燃焼チャンバ内における電線燃え拡がり実験の地上試験を行うとともに、実験を模擬した数値シミュレーションを実施した。実験時のチャンバ内酸素分圧履歴計測結果とシミュレーションによる酸素分圧履歴の予測結果は非常に良い一致を



宇宙実験模擬チャンバを対象とした燃え拡がり数値シミュレーションの概要



(a)地上実験および(b)宇宙実験をそれぞれ模擬した数値シミュレーションによって予測された火炎周りの流れのベクトル分布図（色は絶対流速を示す）

示し、数値シミュレーションによって高い精度でチャンバ内の燃え拡がり火炎挙動を予測できることが分かった。また、宇宙実験を模擬し、無重力状態において定容チャンバを中心軸周りに回転させた条件における電線燃え拡がり数値シミュレーションも実施した。その結果、容器内部では人工重力による影響とコリオリカの影響が干渉し合い、複雑な流れ場になることが分かった。

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究の成果により、JAXA「きぼう」FSはフェーズ移行審査会でその検討内容が高く評価され、実際に国際宇宙ステーションにおける人工重力下固体材料燃え拡がり実験装置の開発および打ち上げ準備フェーズに移行することが決定された。今後は宇宙実験の実施に向けた更なる研究開発に邁進する所存である。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究は非常に挑戦的な内容であったが、無事に新規装置開発を完了すると共に回転筐体を用いた人工重力が固体材料の燃え拡がり現象に与える影響についての貴重なデータを得ることができた。また、数値シミュレーションの精度検証を行い、固体材料燃え拡がりの宇宙実験における流れ場の予測を行うことができた。今回の研究成果を活用し、宇宙実験に向けた準備を確実に進めて行く予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. N. Hashimoto, Y. Konno, B. Pelletier, M. Kikuchi, O. Fujita, Development of Experimental Apparatus for Fire Safety of Solid Materials Under Partial Gravity Condition – FLARE-3, the ISS Orbital Experiment Project, Lunar Surface Science Workshop, Fundamental and Applied Lunar Surface Research in Physical Sciences, Online, 2021/8/18.
2. 舟崎杏珠, 金野佑亮, 橋本望, 藤田修, 円管内電線上燃え拡がり火炎に及ぼす円筒内径の影響, 日本機械学会 北海道支部 第51回学生員卒業研究発表講演会, 432, オンライン開催, 2022/3/5.
3. 金野佑亮, 舟崎杏珠, 橋本望, 藤田修, 地上とは異なる重力環境下での材料難燃性評価に使用される遠心加速度を利用した燃焼試験装置の開発検討, 第19回HASTIC学術技術講演会, 発表番号6, オンライン開催, 2022/3/8.
4. A. Funasaki, Y. Konno, N. Hashimoto, O. Fujita, Effect of inner diameter on horizontal flame spread over electric wire in a cylindrical tube, WiPP at 39th International Symposium on Combustion, 1P037, Vancouver Convention Center, Vancouver, Canada, 2022/7/25.
5. N. Hashimoto, Y. Konno, O. Fujita, Numerical simulation of flow field inside a chamber for partial gravity experiment of flame spread over an electric wire insulation, WiPP at 39th

International Symposium on Combustion, 1P042, Vancouver Convention Center, Vancouver, Canada, 2022/7/25.

6. 橋本望, 金野佑亮, 中谷辰爾, 津江光洋, 小林芳成, 高橋周平, 鳥飼宏之, Guillaume Legros, Carlos Fernandez-Pello, 菊池政雄, 藤田修, FLARE-2/FLARE-3プロジェクト:低重力環境下における固体材料の火災安全評価手法の開発, 日本マイクロ重力応用学会第34回学術講演会 (JASMAC-34), OS3-5, 名古屋市立大学, 名古屋, 2022/9/14
7. 石川昇龍, 舟崎杏珠, 金野佑亮, 橋本望, 藤田修, 遠心力が低密度ポリエチレン被膜電線上火炎の燃え広がりに及ぼす影響の調査, 日本機械学会 北海道支部 第52回学生員卒業研究発表講演会, 434, 北海道科学大学, 札幌, 2023/3/4.
8. 金野佑亮, 石川昇龍, 橋本望, 藤田修, 遠心加速器内における円筒固体材料の燃え広がり現象の観察, 第20回HASTIC学術技術講演会, 発表番号5, オンライン開催, 2023/3/7.
9. Anju Funasaki, Yusuke Konno, Nozomu Hashimoto, Feng Guo, Osamu Fujita, Effect of inner diameter on horizontal flame spread over electric wire in a cylindrical tube, The 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC 2023), Kaohsiung Exhibition Center, Kaohsiung, Taiwan, 2023/5/16.
10. Yusuke Konno, Shoryu Ishikawa, Nozomu Hashimoto, Osamu Fujita, Experimental observations of downward flame spread along thin wire in various gravity fields using a centrifuge, The 14th Asia-Pacific Conference on Combustion (ASPACC 2023), Kaohsiung Exhibition Center, Kaohsiung, Taiwan, 2023/5/15.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

特になし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 北海道大学大学院工学研究院(ホッカイトウダイガクダイガクインコウガクケンキュウイン)

住 所: 〒060-8628

北海道札幌市北区北13条西8丁目

担 当 者: 准教授 橋本 望(ハシモト ノゾム)

担 当 部 署: 宇宙環境応用工学研究室(ウチュウカンキョウオウヨウコウガクケンキュウシツ)

E - m a i l: nozomu.hashimoto@eng.hokudai.ac.jp

U R L: <http://lsu-eng-hokudai.main.jp/>