

授賞者の研究業績の紹介

2024年度 第17回宇宙科学奨励賞授賞者

宇宙工学分野

小林 芳成（こばやし よしなり）

岐阜大学 工学部 機械工学科 准教授

業績の題目：将来の有人宇宙開発における火災リスク低減に向けた微小重力燃焼研究

宇宙船内の有人活動において火災は、空気漏れ、有毒ガス発生と併せて最もリスクが大きい緊急事態として位置づけられている。火災の背景にあるのは燃焼工学で、燃焼には、化学反応に加えて、流体力学、熱力学や伝熱学が関与する複雑な現象が絡み合っている。宇宙空間で問題となるのは重力の影響であり、微小重力下における燃焼メカニズムを明らかにすることが重要な課題となる。例えば、国際宇宙ステーションでの火災防止対策に使われている NASA の基準では、本来は微小重力下で行うべき材料の燃焼性の評価が地上で実施されており、懸案事項となっていた。

小林芳成氏は燃焼工学の専門家として、JAXA の「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」（通称 FLARE プロジェクト）に参画するなど、微小重力燃焼の研究に一貫して取り組んできた。一連の研究で、通説を覆す様々な新事象を発見するだけでなく、燃焼現象のモデル化やシミュレーションにより、微小重力下での火災の挙動を予測する手法を構築してきた。これは、燃焼工学の深化・発展に貢献するだけでなく、有人宇宙開発における火災安全技術の向上につながる極めて重要な成果である。小林氏の顕著な業績を以下にまとめる。

1. 微小重力環境における可燃性ガスの点火現象に関する研究（論文[1]）

落下塔での自由落下や航空機の放物線飛行を利用した微小重力実験により、可燃性ガスの点火現象を調査・研究した。その結果、微小重力環境では最小点火エネルギーが低下し、点火限界が拡大することが明らかになった。また、火炎核の成長過程において、通常重力環境では自然対流の作用によって生じる火炎核下部の消炎が微小重力環境では抑制され、最小点火エネルギーが変化することが明らかになった。これらの発見は、「可燃性ガスの点火現象は重力の影響を受けない」とする従来の定説を覆すもので、宇宙環境での可燃性ガスの着火リスクを見直す根拠となった。

2. 可燃性被覆導線の燃え拡がり挙動のモデル化（論文[2]）

米カリフォルニア大学バークレー校との共同研究として、可燃性被覆を纏った金属導体に沿って火炎が燃え広がる際、熔融した被覆が滴り落ちる「ドリッピング」が火炎の燃え広がり挙動に及ぼす影響を調査した。系統的な実験で得られたデータを基に、ドリッピングを考慮した導線の燃え広がりモデルを構築し、ドリッピングが発生するメカニズムを初めて理論的に示した。ドリッピングの発生メカニズムやその特性を理解することで、ドリッピングが生じない微小重力環境における電線の火災リスクを推定、評価することが可能になった。本研究によって、地上と異なる宇宙環境での燃え広がり挙動に対応した電線材料の開発や設計指針の策定への道が拓けた。

3. 微小重力環境における固体材料の燃え広がりに関する研究（論文[3]）

固体材料の燃え広がり研究において、スケールモデリングを導入し、材料の種類に依らず火炎の燃え広がりから消炎までを説明する統一理論を構築した。地上での燃焼試験データをもとに固体材料の微小重力環境における可燃限界を予測したところ、理論と実験が定量的に一致することが確認された。この理論は FLARE プロジェクトの「材料燃焼性評価法」にも応用されており、微小重力燃焼実験を行わずとも、地上での燃焼試験データからその材料の宇宙船内における火災リスクを評価することが可能になった。

以上の通り、小林氏は、微小重力下での燃焼現象の解明により宇宙工学の発展に極めて重要な知見を提供すると共に、宇宙開発における安全性向上という観点からも大きな貢献を果している。後続プロジェクトの主要メンバーとして、宇宙で使う材料の安全性を評価する国際的な基準づくりのほか、無重力環境や月面などの低重力環境での有人探査計画にリーダーシップを持って貢献する研究者となることが期待される。

関連する論文リスト

- [1] Y. Kobayashi, T. Tsujino, S. Nakaya, M. Tsue, S. Takahashi, “Laser-induced spark ignition of DME-air mixtures in microgravity: Comparison of ignition characteristics between normal gravity and microgravity,” *Fuel*, 236, pp.1391-1399 (2019).
- [2] Y. Kobayashi, Y. Konno, X. Huang, S. Nakaya, M. Tsue, N. Hashimoto, O. Fujita, C. Fernandez-Pello, “Effect of insulation melting and dripping on opposed flame spread over laboratory simulated electrical wire,” *Fire Safety Journal*, 95, pp.1-10 (2018). ※ Featured Article Selected by the Editors
- [3] S. Takahashi, M.A.F. bin Borhan, K. Terashima, A. Hosogai, Y. Kobayashi, “Flammability limits of thin flame-retardant materials in microgravity environments,” *Proceedings of the Combustion Institute*, 37(3), pp.4257-4265 (2019).