HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	微小重力下おける電線被覆上燃え拡がり火炎の消炎限界に及ぼす周囲環境条件の影響［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	永地, 大志
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14229号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/79782
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Masashi_Nagachi_review.pdf, 審査の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称　博士 (工学)　　氏名　永地 大志

審査担当者　主　査　教　授　藤田 修
副　査　教　授　永田 晴紀
副　査　教　授　戸谷 剛
副　査　准教授　橋本 望

学位論文題名

微小重力下おける電線被覆上燃え拡がり火炎の消炎限界に及ぼす周囲環境条件の影響
(Effect of surrounding condition on extinction limit of spreading flame over electric wire in microgravity)

将来の長時間有人宇宙活動の拡大に伴い、宇宙船内での火災安全性の確保は最も基本的な課題の一つである。宇宙船内における火災の原因としては、電気系統のショートによる発火とそれに引き続く燃え拡がりが主なものである。現在、国際宇宙ステーション (ISS) をはじめとする宇宙船の材料は、NASA の課す火災安全性基準試験 (STD-6001B) を通過することが要求されている。しかしながら、過去の研究から微小重力場の方が地上よりも材料の燃焼性が高くなる例が報告されている一方で、現在の火災安全性基準試験は地上で行われるものであり、重力の影響が適切に評価できているとは言えない。このため、重力の影響を考慮した新しい火災安全基準試験の構築とその国際標準化が求められている。

このような観点で、これまで微小重力場で大気圧条件かつ対向空気流中の燃え拡がり火炎の消炎限界に関する研究が数多く行われてきた。しかしながら、実際の宇宙船内の環境として想定される低圧環境や、対向空気流よりも危険な条件とされる並行空気流条件などにおける研究は十分とは言えない。本研究では、特に電線被覆の燃焼現象を対象として、上述の周囲環境条件が微小重力下における材料の消炎限界に及ぼす影響を明らかにすることで、宇宙船内の火災安全性向上の基礎を与えようとした研究である。

第 1 章は、序論であり研究の背景、目的および先行研究の例などをまとめている。

第 2 章は、実験装置および実験方法についてまとめている。とくに本研究で使用した 2 種類の微小重力実験装置の詳細を説明している。

第 3 章では、電線被覆上を燃え拡がる火炎について初期の着火条件 (イグナイター出力、加熱時間) が消炎限界酸素濃度 (LOC) に及ぼす影響について微小重力実験に基づき検討を行っている。さらに、電線に初期加熱を与えた場合の心線の温度分布を理論的に推定することで、加熱条件の影響について考察を行っている。この結果、微小重力環境では着火エネルギーが大きくなるほど着火直後の段階では LOC が低下するものの、最終的には一定の LOC に収束することを示している。これらの結果は、初期着火の影響を受けずに正しく LOC を取得できる着火エネルギーの存在を示唆するもので、以降の章で使用する初期着火条件を与えるだけでなく、将来予定されている国際宇宙ステーションでの燃焼試験で設定すべき初期着火条件の根拠を提供するものである。

第 4 章では、微小重力環境におけるポリエチレン被覆ニクロム電線上の対向空気中燃え拡がり火

炎の LOC に対する周囲圧力の影響について調査している。さらに、電線被覆上を燃え拡がる火炎に対する圧力影響を簡易な伝熱モデルにもとづき考察を行った。この結果、微小重力下における電線被覆上燃え拡がり火炎の LOC は周囲圧力が小さくなるほど値が大きくなることを示した。すなわち、微小重力環境において、低圧環境では材料の燃焼性は低下することを述べており、将来の有人探査船の船内圧力を低下させる設計を行う場合、火災安全上の酸素濃度の上限値を従来の設計条件より高い値に設定できる可能性を示した。

第 5 章では、微小重力環境における並行空気流中の電線被覆上燃え拡がり火炎の LOC を取得し、過去の対向空気流の結果と比較している。その結果、並行空気流中における LOC は対向流のものよりも値が小さく、より燃焼性の高い条件であることが明らかとなっている。また、燃え拡がる火炎の様子を観察したところ、当該条件の火炎には定常状態が存在することが明らかとなった。さらに、過去の対向空気流中燃え拡がり火炎の伝熱モデルを参考に、並行空気流中燃え拡がり火炎の伝熱モデルの構築を行い、酸素濃度が十分高い条件では燃え拡がり現象を適切に表現できることを示した。一方、消炎限界条件の推測に対しては、火炎からの熱損失による火炎温度の低下を考慮することで実験的に得られる LOC の傾向を説明できることを述べている。また、心線材料を変えて実験を行ったところ、並行流火炎では心線材質は燃え拡がり速度には大きく影響を与えないものの、心線の熱伝導率の高い電線の方が LOC の値は大きくなることを示している。

第 6 章では、全体の総括を行うとともに、今後の研究の課題についても言及している。

以上のように、本論文は電線被覆の微小重力場における燃焼性に及ぼす初期加熱条件、圧力条件、周囲空気の流動条件について実験および理論的考察に基づいて検討を加えたものであり、現在準備が進んでいる国際宇宙ステーション実験の礎となるばかりでなく将来の長時間有人活動の火災安全に関する基礎的知見を与えている。これらの成果は宇宙環境利用工学および火災安全工学の発展に寄与するところ大なるものがある。よって著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。