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_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　永地 大志

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かつ重要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, 電気配線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) を通過した材料のみを使用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、現存する火災安全性基準試験は地上で行われるものであり, 微小重力環境を想定した材料の燃焼性を適切に評価する手法の重要性が指摘されている. しかしながら, 宇宙火災安全基準の試験をすべて微小重力環境で行うのはコストの面から現実的ではない. 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およびその国際標準化が求められている.

過去に行われた研究では, 宇宙船内の船内圧力である 1 気圧環境下において, 微小重力環境における対向空気流速中の燃え拡がり火炎の消炎限界の理論式を作成することで, 宇宙船内における電線の燃焼性を取得する試みが行われてきた. これにより, 現行の試験法で明確ではなかった微小重力下における電線の燃焼性を評価できるようになるため, 宇宙船内の火災のリスクをより定量的に議論できるようになる. しかしながら, 従来の研究の多くはその範囲が大気圧条件および対向空気流中を対象としたもので, 実際の宇宙船内の環境として想定される低圧環境や地上において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実験的に取得するとともに理論的考察に基づき, 宇宙船内の火災安全性向上の基礎を与えることを目的とした研究である.

第 1 章では, 宇宙船内における火災安全の必要性及び現在の燃焼試験の方法やその問題点について記述した. また, 過去の研究を引用しながら, 現在進められている微小重力環境を考慮した新しい燃焼試験の手法の概要や微小重力環境における周囲環境が材料の燃焼性に与える影響を記述するとともに, 電線被覆の燃焼に対する周囲環境の影響の研究の重要性について言及した.

第 2 章では, 実験で使用した 2 種類の微小重力実験用電線燃焼装置及び実験で使用した電線の詳細を記載している. 実験ではポリエチレンを被覆材として使用したニッケルクロム及び銅を心線に持つ電線を使用することで, 基礎的な燃焼の物理現象の取得を行った. また, 微小重力実験で使用した航空機及び実現できる重力環境について記載した.

第 3 章では, 確実に正しい消炎限界を取得できるようにするため, 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) にどのような影響を及ぼすかについて実験的手法から調査した. 実験は, 通常重力環境及び微小重力環境下で実施し, 重力環境の違いによる着火条件による影響について調べた. また異なる心線材料を持つ電線にお

いても同様の実験を行い, その影響の現われ方の違いを調査した. さらに, 得られた結果について電線に初期加熱を与えた場合の心線の温度分布を計算することで, 現象についての理解を試みた. その結果, 微小重力環境においては, 着火エネルギーが大きくなるほど消炎限界は小さくなるが, 最終的には一定値に収束することが明らかとなった. また, 電線で使用する心線材質が異なると, 着火エネルギーが消炎限界に与える影響が変化した. さらに, 比較対象として, 地上試験を同様に行ったところ, 微小重力環境の方が地上よりも着火による影響を大きく受けることが明らかとなった. これらの結果から, 初期着火に影響されず正しく消炎限界が取得できる初期着火エネルギーの大きさを取得し, 以降の章で使用する初期着火条件を定めた. また, 将来予定されている国際宇宙ステーションにおける燃焼試験において, 特定の値を超える着火エネルギーを与えることで正しい消炎限界が得られるという知見を得た.

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対向空気中燃え拡がり火炎の消炎限界に対する周囲圧力の影響について調査した. また, 得られた結果について電線被覆上燃え拡がり火炎に対する伝熱モデルを導入することで考察を行った. その結果, 微小重力環境における電線被覆上燃え拡がり火炎の消炎限界酸素濃度 (LOC) は周囲圧力が小さくなるほど, 値が大きくなった. これは, 周囲圧力が小さくなるほど, 電線からの輻射損失の影響が大きくなり, 結果的に低圧環境下で材料の燃焼性が低くなったと思われる. また, 本実験で得られた LOC のデータを酸素分圧に書き換えた消炎限界酸素分圧 (LOPP) は周囲圧力が小さくなるほど, 値が小さくなった. これは, 周囲圧力が小さくなるほど火炎温度が高くなるため, 結果的に LOPP が小さくなったからだと思われる. これらの結果から, 微小重力環境において, 低圧環境で材料の燃焼性は低下することが分かった. ここから, 将来の有人探査船の船内圧力の設計を行う際に, 低圧を前提とした設計を行う際は火災安全上設定する酸素濃度の上限を, 通常の気圧よりも大きくできる可能性を示唆した.

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消炎限界を取得し, 過去の対向空気流の結果と比較を行った. その結果, 並行空気流中における火炎の消炎限界は, 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た. また, 燃え拡がる火炎の様子の観察を行ったところ, 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. この定常状態の実現には電線から周囲への輻射熱損失が重要な役割を果たしているものと考えられる. 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った. その結果, 構築したモデルは酸素濃度が十分な条件での燃え拡がり火炎の物理現象を表現することができたが, 消炎限界を説明するには不十分であることが分かった. これは, 火炎からの熱損失を考慮していないことが原因だと思われる. 実際に火炎からの熱損失を火炎温度の低下という形で表した時, モデルで計算した結果は実際の物理現象を説明することができた. さらに, 心線材料を変えて実験を行ったところ, 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材質の電線の方がより燃えにくくなることが明らかとなった.

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記載した.