

学位論文題名

微小重力場における拡散火炎中に
生成されるスス粒子塊の挙動

学位論文内容の要旨

現在、生物科学、材料生成、熱流体物理などの分野において、微小重力環境を利用した研究が注目を集めている。通常重力環境下での燃焼現象は、自然対流の影響を大きく受け現象が複雑化しており、同環境では現象の解明が困難な場合が多い。微小重力環境を利用することにより、現象を複雑化している自然対流を排除し、燃焼機構の解明を容易にするとともに、通常重力環境下では重力の影響により抑制されている現象を顕在化できる可能性もある。このような観点から、微小重力環境下の燃焼現象について多くの研究が現在まで行われているが、これらの研究の多くは、燃焼特性としては基本的な、火炎形状や燃え広がり速度に着目したものである。燃焼現象を扱う場合に、これらの火炎の性質を把握することは重要なことである。しかし同時に燃焼の結果排出される燃焼生成物についても配慮しなければならない。近年、燃焼の結果排出される一酸化炭素、未燃炭化水素、SO_x(イオウ酸化物)、NO_x(窒素酸化物)、そしてススを含む微粒子などの環境汚染物質が問題となっている。これら燃焼生成物の生成機構および生成条件を明らかにすることも燃焼研究において極めて重要である。微小重力環境下では、燃焼生成物の生成について通常重力環境下ではとらえられなかった現象が顕在化する可能性を有している。微小重力環境下で自然対流のじょう乱を受けない状態での燃焼生成物排出特性などの知見を得ることにより、通常重力環境下では現象が複雑で解明の困難な燃焼生成物の生成機構をより明確にできると考えられる。しかし、微小重力環境を利用した燃焼に関するこれまでの研究の中で、燃焼生成物についての研究は極めて少ない。そのような背景として、微小重力実験を行う環境がこれまで整っていなかったということが挙げられる。微小重力環境を得る手段のうちスペースシャトル、フリーフライヤ、小型ロケットなどは、実験費用や実験機会、実験の柔軟性に問題がある。また従来使用している落下塔では、得られる微小重力期間が5秒程度と短く、燃焼現象そのものは短時間で完了するがサンプリングや計測に時間を要することから、十分な微小重力期間とはいえなかった。また装置搭載容量が小さく、計測に必要な機器を搭載することが困難である上に、落下後の制動の衝撃が大きいため精密な機器を搭載することも困難であった。1991年に、約10秒という従来落下塔に比べ長い微小重力期間を得ることが可能なJAMIC(Japan Microgravity Center)の落下施設が北海道上砂川町に建設された。本研究では、この高い頻度で実験を行うことが可能であり比較的長い微小重力期間を得ることができる落下施設の特長を活かし、従来研究ではあまり扱われていない

微小重力環境下で生成される燃焼生成物のなかで、拡散火炎の典型的な燃焼生成物であるススの挙動を取りあげた。

本研究では、対象燃料として発煙傾向の低い気体燃料のうちブタンを用い、微小重力環境下で単一円管バーナに形成した拡散火炎の挙動を観察した。その結果、微小重力環境下のブタン噴流拡散火炎に、視認できるほど大きな輝く粒子のようなものが観察された。これは通常重力環境下では見られない現象であり、従来の微小重力環境を利用した燃焼研究においても報告された例のないものである。

本研究の第一の目的は、この微小重力環境下の拡散火炎に特徴的に見られる輝く粒子が何であるのかを確認し、その挙動を明らかにすることである。本研究で行った粒子の捕集および顕微鏡観察の結果、この粒子はスス粒子の凝集体であることがわかった。本研究ではこの粒子をスス粒子塊と呼ぶ。本研究の第二の目的は、微小重力環境下においてこのスス粒子塊を生成する火炎の性質を捉え、スス粒子塊の生成する条件を明らかにすることである。観察されたスス粒子塊生成現象は、これまでに報告されていない新しい現象であるため、スス凝集に関する知見を深める意味においてもその生成機構を解明する必要がある。本研究の第三の目的は、スス粒子塊を生成する火炎の火炎構造を変化させ、スス粒子塊生成を制御するとともに、スス粒子塊の生成に関する条件を再確認することである。このため、勾配磁場の付与および燃料噴流への回転力の付与の二通りの火炎操作を行い、スス粒子塊生成挙動への影響を調べた。

本論文は、8章より構成されている。第1章においては、微小重力環境下の燃焼研究の動向と本研究の目的と意義、および概要を述べている。

第2章においては、これまでに行われているスス生成機構に関する研究の動向およびススについての基本的な情報、および本研究で使用した微小重力実験施設の概要を述べている。

第3章においては、本研究ではじめて発見された微小重力環境下で生成される粒子が、拡散火炎中で生成されたスス粒子が凝集し、巨大化したものであることを確認している。またスス粒子塊生成の現象観察を行い、スス粒子塊の基本的な挙動を明らかにしている。

第4章においては、スス粒子塊の生成条件を探る第一段階として火炎周りの流速の影響について検討を行い、スス粒子塊生成には気体流速、すなわち滞留時間が大きく影響していることを明らかにしている。

第5章においては、円管バーナに形成される拡散火炎のスス粒子塊生成領域を確認し、昇圧酸素濃度がスス粒子塊生成に影響することを明らかにしている。さらにスス粒子塊を生成する火炎周りの温度分布について検討を行い、スス粒子塊が生成される条件に温度が関与していることを明らかにしている。

第6章においては、火炎周りの化学種濃度分布を予測した後に、スス粒子塊生成条件に関する検討を行っている。微小重力環境下で生成されるスス粒子塊の生成に関与する条件を総合し、スス粒子塊生成には微小重力環境下の自然対流が消失することにより顕在化したサーモフレイシス効果が大きな役割を果たすというスス粒子塊生成メカニズムを提案している。

第7章においては、微小重力環境下でスス粒子塊を生成する火炎の外部構造を勾配磁場を用いて、火炎の内部構造を燃料噴流に回転力を与えることにより変化させ、スス粒子塊生成が微小重力環境下で制御可能な現象であることを示している。

第8章は結論であり、本研究において得られた結果を要約して述べており、微小重力環

境下のスス粒子塊生成に関し得られた結果は、拡散燃焼により生成されるススの生成および成長機構の理解に対して重要な指針を与えることを述べている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 藤 献 一
副 査 教 授 工 藤 一 彦
副 査 教 授 宮 本 登
副 査 教 授 石 井 邦 宜
副 査 教 授 真 田 雄 三

学位論文題名

微小重力場における拡散火炎中に 生成されるスス粒子塊の挙動

通常重力環境下の燃焼現象は、自然対流の影響を大きく受け現象が複雑化されており、燃焼生成物の発生機構や輸送現象の解明が困難な場合が多い。とくにススや燃焼中間体の生成機構は複雑であり、その詳細の多くは明らかでない。ススは環境汚染物質の一つである一方、工業製品の原料物質でもある。しかし燃焼火炎中のススの凝集機構や凝集体構造、そして火炎中での挙動など、明らかにされていないことが多い。

微小重力環境を利用することにより、通常重力環境下では重力の影響により抑制されている現象を顕在化できる可能性があり、燃焼機構の解明を容易にすることが知られている。しかしこれまで微小重力環境の確保が極めて困難でありかつ実験手法が確立されていないことから、ススについての現象解明が切望されているにもかかわらず行われていなかった。

本論文は、ススの生成および成長過程のなかでスス粒子の集塊過程について取りあげ、微小重力実験手法を確立し、微小重力環境を用いてススの集塊に関する詳細なメカニズムを探ることを目的とし、実験的な研究を行ったものである。

本論文は、8章より構成されている。第1章においては、微小重力環境下の燃焼研究の動向と本研究の目的、意義、および概要を述べている。

第2章においては、これまでに行われているススの生成機構に関する研究の動向およびススについての基本的な性質、および使用した微小重力実験施設の概要を述べている。

第3章においては、微小重力環境下でボタン噴流拡散火炎におけるススの生成の観察を行い、同火炎で視認できるほど大きな輝く粒子を観察している。これは通常重力環境下では見られない現象であり、従来の微小重力環境を利用した燃焼研究においても報告された例のないものであることを指摘した。粒子の捕集および電子顕微鏡観察より、微小重力環境下で生成される粒子は拡散火炎中で生成されたスス粒子が凝集し、巨大化したものであることをはじめて見出している。またスス粒子塊生成の現象観察を行い、スス粒子塊の基

本的な挙動を明らかにしている。

第4章においては、スス粒子塊の生成条件を探る第一段階として火炎周りの流速の影響について検討を行い、スス粒子塊生成には気体流速、すなわち滞留時間が大きく影響していることを明らかにしている。

第5章においては、円管バーナに形成される拡散火炎のスス粒子塊生成領域を確認し、雰囲気酸素濃度がスス粒子塊生成に影響することを明らかにしている。さらにスス粒子塊を生成する火炎周りの温度分布について検討を行い、スス粒子塊が生成される条件に温度が関与していること、そして火炎近傍の温度勾配がサーモフレイシス効果を生ずるに十分な条件であることを明らかにしている。

第6章においては、火炎周りの化学種濃度分布を予測した後に、スス粒子塊生成条件に関する検討を行っている。微小重力環境下で生成されるスス粒子塊の生成に関与する条件を総合し、スス粒子塊生成には微小重力環境下の自然対流が消失することにより顕在化したサーモフレイシス効果が大きな役割を果たすというスス粒子塊生成メカニズムを提案している。

第7章においては、微小重力環境下でスス粒子塊を生成する火炎について、外部構造を勾配磁場を用いて、内部構造を燃料噴流に回転力を与えることにより変化させて研究し、スス粒子塊生成が微小重力環境下で制御可能な現象であることを示している。

第8章は結論であり、得られた結果を要約して述べており、微小重力環境下のスス粒子塊生成に関し得られた結果は、拡散燃焼により生成されるススの生成および成長機構の理解に対して重要な指針を与えることを述べている。

これを要するに、著者は、拡散火炎に関する微小重力環境を利用した実験手法を確立するとともに、炭化水素燃料からのスス粒子凝集機構について新知見を得たものであり、燃焼工学ならびに宇宙環境応用工学の発展に貢献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。