

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2006 ~ 2009

課題番号：18360404

研究課題名(和文) 微小重力実験から導かれた新理論に基づく本格的な噴霧
燃焼数値シミュレータの開発

研究課題名(英文) Development of a powerful numerical simulator on spray combustion
on the basis of a new theory derived from microgravity experimental studies.

研究代表者

梅村 章(Akira Umemura)

名古屋大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60134152

研究分野：航空宇宙工学

科研費の分科・細目：総合工学・航空宇宙工学

キーワード：乱流微粒化，噴霧燃焼，数値シミュレータ，表面張力波，液滴間火炎伝播，
液系の分裂機構，アルゴリズム開発，微小重力実験

1. 研究計画の概要

有名な噴霧燃焼シミュレータソフトに米国で開発された KIVA がある。世界中で利用されているが、詳しく調べると、このソフトは流れ場の計算において威力を発揮するとしても、噴霧燃焼に特徴的な要素過程を正しくとらえていないことがわかる。そのため、学術的な研究や新規燃焼器の設計および問題解決に直接役立つことは少ない。特に、保炎に関連する火炎伝播と、噴霧燃焼の前提になる微粒化特性については、自ら正確に予測する能力を備えておらず、このことがシミュレータの威力を大幅に損ねている。噴射条件より生成噴霧の性状が予測でき、且つ、噴霧の性状に応じた着火および火炎伝播が正しく模擬できないと、噴霧での保炎現象が正しく記述できず、研究や設計に有力なシミュレータにはなり得ない。本研究では、宇宙環境利用研究プロジェクトの一環として微小重力実験で解明してきた液滴間火炎伝播と乱流微粒化機構の知見を応用し、従来の噴霧燃焼シミュレータの問題点を克服し、独創的な構想に基づき本格的な噴霧燃焼数値シミュレータの構築を目指す研究をおこなう。

2. 研究の進捗状況

現行の噴霧燃焼シミュレータの基礎式を吟味すると、噴霧燃焼に固有な特性をとらえた定式化になっていないにもかかわらず、一見もっともらしい計算結果が出せるのは、微粒化データのインプットや実験データにあわせた燃焼計算パラメータの調整の結果でしかない。当該研究では、この問題点を克服

すべく、微小重力実験で明らかになった新しい知見を取り入れた新しい定式化により、本格的な噴霧燃焼シミュレータの計算スキームの開発を目指した研究を実施してきた。当初計画に従い、先ず噴霧燃焼計算スキームの開発から取り掛かった。現行の計算スキームの若干の修正だけで、微小重力実験であきらまになった液滴間火炎伝播の効果を組み込んだ計算が行える新しい計算スキームを考案した。これにより、噴霧に固有な保炎機構も記述ができるようになり、本研究で問題視した噴霧燃焼計算スキームの問題は解決した。微粒化過程を記述する計算スキームを構想するために進めてきた微小重力実験から最終的に導かれた知見は、従来の微粒化理論を塗り替える革命的なものであった。様々な微粒化現象を統一的に記述し、且つ微粒化特性の定量的予測を可能にする新しい微粒化理論の構築に成功したことにより、我国独自の新しい考えに基づいた我国発の本格的な噴霧燃焼シミュレータの開発への自信を大いに深めた。

3. 現在までの達成度

当初の計画以上に進展している。

<理由> 当初の予想をはるかに超えて微粒化概念の理解が進み、研究の質的向上が大幅にもたらされた。

4. 今後の研究の推進方策

新しい微粒化理論の完成により、これまでできなかった微粒化特性の予測が可能になっただけでなく、高速噴射実験に基づいた流体

力学構造の考究から、微粒化に至る噴射液のカスケード過程を記述する独自の計算スキーム開発への道筋を具体的に描くことができるようになった。そのため、本研究を液体ロケットエンジン開発に実用化する微粒化シミュレータの開発に特化し、JAXA・東大との連携による研究に再構築し、基盤研究(A)に申請し採択された。問題点として、研究上必要になる、表面張力波を捕獲した微粒化過程の直接数値シミュレーションはスーパーコンピュータを使用しても長い時間がかかる点がある。実用化対象を特化した研究にすることにより、開発する微粒化サブグリッドモデルの検証計算および実験が実効的且つ機能的なものとなり、我が国の宇宙開発技術というより価値の高い成果が創出できるようになると考えている。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計 9件)

- (1) 梅村章, 液系の短波長分断機構の理論的研究, 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **56**, (2008), pp. 228-238.
- (2) 梅村章, 噴射液の自己不安定化機構の理論的研究(第4報: ノズル出口での継続的な不安定波生成) 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **56**, (2008) pp.433-441.
- (3) 梅村章, 乱流微粒化研究における微小重力実験の意義, 日本マイクロ重力応用学会誌, [解説] 査読無, **25** (2008) pp.50-57.
- (4) 梅村章, 噴射液の自己不安定化機構の理論的研究(第1報: 噴射液の不安定化に関連する表面張力波), 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **55** (2007) pp.216-223.
- (5) 梅村章, 噴射液の自己不安定化機構の理論的研究(第2報: 分断フィードバックループ), 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **55** (2007) pp.224-231.
- (6) 梅村章, 噴射液の自己不安定化機構の理論的研究(第3報: 短距離分断過程の1次元計算), 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **55** (2007) pp.359-366.
- (7) 新城淳史, 小川哲, 梅村章, 液膜端の収縮により発生する表面張力波の特性, 日本航空宇宙学会論文集, 査読有, **55** (2007),

pp273-281.

- (8) T. Owaki and A. Umemura, Premixed swirl combustion modes emerging for a burner tube with converging entrance Proceedings of the Combustion Institute, 査読有. **31**, (2007), pp. 1067-1074.
- (9) A. Umemura, Y. Nagase and T. And, Marangoni effect on a droplet approached by a diffusion flame, Combustion Theory and Modeling, 査読有, **10**, (2006), pp.57-84.

〔学会発表〕(計 12件)

- (1) Ali, M, and Umemura, A., Capillary Instability of a Cylindrical Liquid Column, 12th Asian Congress on Fluid Mechanics, August 18-21, 2008, Daejeon, Korea
- (2) 野村和孝, 梅村章, 菱田学, 大坂淳, 微小重力環境を利用した近臨界噴射液の可視化と解析, 第45回燃焼シンポジウム, 仙台, 2007年12月
- (3) 新城淳史, 松山新吾, 溝渕泰寛, 小川哲, 梅村章, 表面張力による液系分断機構の解明に関する数値解析, 第39回流体力学講演会/航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム 2007, 2007年6月(最優秀講演賞受賞)
- (4) J. Shinjo, S. Ogawa, A. Umemura, "Numerical simulation of circular liquid jet disintegration due to capillary force", Asia Pacific Conference on Combustion 2007, Nagoya, May, 2007
- (5) 野村和孝, 伊原晃, 菱田学, 梅村章, 微小重力環境を利用した微粒化過程の研究, 第44回燃焼シンポジウム, 広島, 2006年12月

〔その他〕

- (1) 宇宙環境利用に関する公募地上研究ニュース, Vol.11, pp.3-4, 2009年3月, JSF・JAXA刊
- (2) 中部経済新聞, 一面, 2008年6月16日.
- (3) 平成18年度無重力セミナー「微小重力実験から生まれた新しい微粒化理論」, 平成18年11月27日, セラトピア土岐.