

## 自己評価報告書

平成23年 3月31日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360081

研究課題名 (和文) 擬似衝撃波による混合促進機構の解明

研究課題名 (英文) Investigation of Mixing Enhancement Mechanism Caused by Pseudo-Shock Wave

研究代表者

升谷 五郎 (MASUYA GORO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：20271869

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・流体工学

キーワード：圧縮・非圧縮流, 擬似衝撃波, 乱流混合

## 1. 研究計画の概要

将来の宇宙輸送システムや極超音速機用のエンジンとして、各国が研究開発を進めているデュアルモード・ラムジェットにおいて、空気流と燃料の混合が擬似衝撃波により著しく促進される機構を、PLIF(平面レーザー誘起蛍光法)やPIV(粒子画像速度計)を用いた実験と数値シミュレーションの両面から解明をする。当初の研究計画において掲げた具体的達成を目指す項目は以下の通りである。

- (1) 一般化蛍光比法の検証
- (2) 一般化蛍光比法と粒子遅れ補正 PIV 法による擬似衝撃波内噴射流れの速度と濃度の定量計測
- (3) 上記計測と数値計算結果を用いた、擬似衝撃波内部の混合促進機構の解明
- (4) 擬似衝撃波長さの新相関式の提案・検証
- (5) トレーサ追従遅れ補正法の適用拡大

## 2. 研究の進捗状況

まず、従来の擬似衝撃波発生・制御用電動弁を、PDI 制御のステッピングモータ駆動フロープラグに代え、擬似衝撃波の発生および位置設定を安定に行えるようにした。上記各項目の進捗状況は以下の通りである。

- (1) 一般化蛍光比法の検証

空気を噴射した場合に、一般化蛍光比法とプローブ採取ガス分析で得た平均モル分率分布を比較し、良い一致を得た。また、平均密度算出、空気以外の噴射気体への適用、パルス噴射への適用、2つ以上の孔からの噴射への適用等への展開を行った。

- (2) 一般化蛍光比法と粒子遅れ補正 PIV 法による擬似衝撃波内噴射流れの速度と濃度の定量計測

速度3成分を同時測定できるステレオ PIV を

導入し、まず平板境界層の乱流統計量を求め、他の測定結果と比較して定量的な一致を確認した。しかし、変動速度測定には粒子遅れ補正が適用できず、補正なしで擬似衝撃波内噴射場の平均及び変動速度データを採取し、各種解析を進めている。

噴射気体濃度については、まず PIV 用トレーサ粒子の Mie 散乱強度による予備的計測の後、PLIF による計測を開始した。擬似衝撃波による噴流界面の大規模構造の変化等のデータが得られつつある。

- (3) 上記計測と数値計算結果を用いた、擬似衝撃波内部の混合促進機構の解明

当初の計画では、数値的手法としてレイノルズ平均 Navier-Stokes 方程式 (RANS) シミュレーションを行う予定だったが、Large Eddy Simulation (LES) のプログラム開発が進み、擬似衝撃波なしの場合について、計算と PLIF の結果を比較し、噴射気体濃度の平均値、変動強度、変動の空間相関で良い一致を得た。更に乱流構造を支配する大規模渦構造も捉えた。現在、擬似衝撃波がある場合の LES を進めている。

- (4) 擬似衝撃波長さの新相関式の提案・検証

擬似衝撃波長さについてのデータを集めている。この項目は擬似衝撃波による混合促進機構の解明と直接関連しないため、他項目を優先させている。

- (5) トレーサ追従遅れ補正法の適用拡大

トレーサ粒子と気流の相対速度が非常に小さい場合の Stokes 抗力則に代わり、広範な相対レイノルズ数及び相対マッハ数で使える Henderson 抗力則を用い、より良い補正ができることを確認した。更に、主流と噴流の総温及びガス種が同じ場合に、速度分布と

(1) で得た密度分布から、静圧分布が求めら

れることを示した。

### 3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している  
(理由)

一般化蛍光比法をガス分析結果と比較して検証したのみならず、平均密度分布測定、複数孔噴射の測定、非定常噴射への適用、乱流濃度場の変動強度や空間相関測定等が可能となり、当初計画を遥かに超えた進展が得られた。また、ステレオPIVを導入し、乱流変動速度の各種統計量測定が可能となった。トレーサ追従遅れ補正法の適用拡大については、相対レイノルズ数及び相対マッハ数の制限がない抗力則を用いた補正法を定式化してその効果を確認した。さらに、PLIFデータと組み合わせて気流中の静圧を求めることも可能となった。さらに、数値計算においても当初計画のRANSに代わってLESを用いたシミュレーションが行われつつあり、混合促進機構のより詳細な解明が期待できる。擬似衝撃波長さに関する新たな相関式を提案・検証ではやや遅れがあるものの、全体としては当初の計画を上回る成果が得られている。

### 4. 今後の研究の推進方策

(1)及び(5)は完了した。

今後は、(2)及び(3)に主力を注ぐ。実験ではPIVの画像撮影と速度算出はほぼ終わっており、今後は主に乱流統計処理と結果の解析を行う。PLIF実験についても、PIVと同じ実験条件でデータを取得し、平均量及び乱流統計量を求め解析を行う。計算では擬似衝撃波がある場合のLESを行い、実験と比較するとともに、擬似衝撃波なしの場合の計算結果と比較して、混合促進機構を解明する。

(4)については、これまで集めたデータの解析を行う。

### 5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5件)

1. H. Takahashi, S. Ikegami, G. Masuya, M. Hirota, "Extended Quantitative Fluorescence Imaging for Multicomponent and Staged Injection into Supersonic Crossflows," *Journal of Propulsion and Power*, Vol. 26, pp. 798-807, 2010年, 査読あり
2. H. Takahashi, G. Masuya, M. Hirota, "Effects of Injection and Main Flow Conditions on Supersonic Turbulent Mixing Structure," *AIAA Journal*, Vol. 48, pp. 1748-1756, 2010年, 査読あり

3. H. Takahashi, H. Oso, T. Kouchi, G. Masuya, M. Hirota, "Scalar Spatial Correlations in a Supersonic Mixing Flowfield," *AIAA Journal*, Vol. 48, pp. 443-452, 2010年, 査読あり
4. J. Watanabe, N. Abe, K. Takita, "Effect of a Rearward-Facing Step on Plasma Ignition in Supersonic Flow," *Journal of Spacecraft and Rockets*, Vol. 46, pp. 561-567, 2009年, 査読あり
5. H. Takahashi, S. Ikegami, H. Oso, G. Masuya, M. Hirota, "Quantitative Imaging of Injectant Mole Fraction and Density in Supersonic Mixing," *AIAA Journal*, Vol. 46, pp. 2935-2943, 2008年, 査読あり

[学会発表] (計 29件)

1. J. Watanabe, T. Kouchi, K. Takita, G. Masuya, "Numerical Study on Turbulent Structure of Transverse Jet into Supersonic Flow," *49th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Orlando, U.S.A., Jan. 5, 2011
2. B. Choi, K. Takae, T. Kouchi, G. Masuya, "Stereoscopic PIV Measurement of a Transverse Jet into a Supersonic Flow with Pseudo-Shock Wave," *The 5th Tohoku University-Seoul National University Joint Workshop on Next Generation Aero Vehicle*, Sendai, Japan, Jun. 18, 2010
3. S. Uramoto, S. Tsuru, T. Kouchi, G. Masuya, "Stereoscopic PIV Measurement of Supersonic Injection Flowfield and Its Error Analysis," *Asian Joint Conference on Propulsion and Power 2010*, Miyazaki, Japan, Mar. 5, 2010
4. G. Masuya, B. Choi, H. Yamauchi, T. Kouchi, "Influence of Velocity Field on Mixing in Pseudo-Shock Wave," *19th International Symposium on Air Breathing Engines*, Montreal, Canada, Sep. 9, 2009
5. S. Koike, T. Tamura, G. Masuya, "Influence of Drag Coefficients and Velocity Fluctuation on PIV Correction Method," *47th AIAA Aerospace Sciences Meeting*, Orlando, U.S.A., Jan. 5, 2009