

乱流燃焼制御の数値シミュレーションに向けた基礎解析

溝淵泰寛、高木亮治、立花繁、小川哲（航技研）

1.はじめに

航空宇宙技術研究所の乱流燃焼制御計算グループは、制御系をも含めた燃焼器の数値シミュレーションを目指して、拡散火炎、予混合火炎の解析および解析方法の研究を行っている。今年度は拡散火炎においては水素/空気の浮き上がり火炎の噴き出し形態が流れ場に及ぼす影響を調べ、予混合火炎においてはスワラー燃焼器における保炎、振動燃焼現象の解明のための基礎計算を行った。

2.拡散火炎

水素/空気浮き上がり火炎の噴き出しにスワールを加えた影響を調べた。噴き出し径 $D=2\text{mm}$ 、噴き出し速度 680m/sec 、旋回速度は径端で 340m/sec とした。スワール効果により火炎の浮き上がり高さは $5.5D$ から $4.5D$ へと約 $1D$ 低くなった。Fig.1 は速度勾配テンソルの第二不変量の正值等値面であるが、噴き出しにスワール成分を加えることにより、微小渦の構造が複雑になり、また渦の数も増加することが分かる。このため、水素と空気の混合が促進され、浮き上がり高さが低くなったと考えられる。

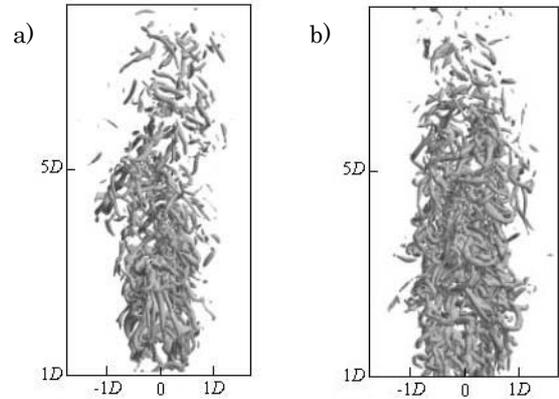


Fig.1 Second invariant of velocity vector tensor: a) normal jet, b) swirled jet.

3.予混合火炎

航技研実験グループが行っているスワラー燃焼器実験に対応する数値シミュレーション及び、そこでの保炎、振動燃焼の現象解明を目指して研究を進めている。

(1) 1次元問題における振動燃焼

振動燃焼は、燃焼による発熱率の変動と流れ場の圧力変動および圧力変動に伴う給気系の流量変動が共鳴して起こる現象と考えられる。これらの現象を数値計算に適切に取り入れるための境界条件の設定法等を調べるためにモデル化した1次元の火炎の伝播における振動燃焼のシミュレーションを行っている。結果は当日発表する。

(2) 3次元スワラー流れの非燃焼シミュレーション

現有の計算機能力では燃焼シミュレーションは困難であるため、次期計算機システムの能力を見すえた上で、非燃焼ガスのシミュレーションを行っている。スワラーの内径 $D_i=1\text{mm}$ 、外径 $D_o=2\text{mm}$ である。Fig.4 に渦構造および圧力分布を示す。Fig.5 は $y=6D_i$ (y :主流方向)の平面内の速度ベクトルの瞬時値および時間平均値である。一見無秩序な流れ場も時間平均をとると旋回流となっていることが分かる。

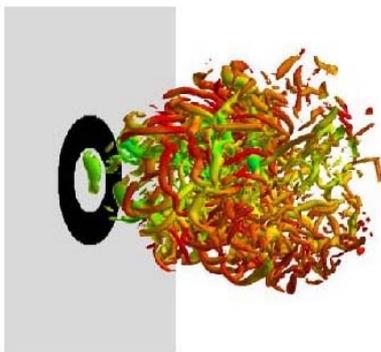


Fig.4 Vortices in a swirler flow with pressure distribution.

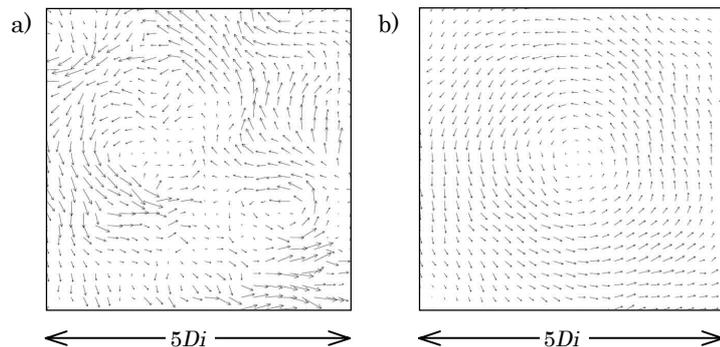


Fig.5 Velocity vectors at $y=6D_i$: a) instantaneous, b) time-averaged.

4.今後に向けて

数値シミュレーションにおいては、境界条件の設定法、離散化法、燃焼乱流のモデル化といったソフト上の未解決な問題がある上に、計算機リソースというハード上の制約もある。次年度からは、これらの問題の克服を目指すとともに、今年度までに行ってきた予備計算を統合してスワラー燃焼器における保炎機構及び希薄燃焼状態での振動現象の解明を行っていく予定である。またXMLによる知見データベースを用いて、計算データおよび実験データから乱流燃焼制御則の構築も行っていきたい。