

燃焼騒音の数値解析 Numerical Simulations of Combustion-Induced Noise

東京工業大学大学院 店橋, 宮内
航空宇宙技術研究所 崔

1. はじめに

高効率・低環境負荷ガスタービン燃焼器の開発において, 希薄予混合燃焼の際に生じる振動燃焼や燃焼騒音等を予測し, 制御することが重要となる. 本研究では, 乱流燃焼の直接数値計算を行い, 乱流燃焼場からの音の発生機構を解明し, それらを予測可能な音響学的モデルを開発すること, また, PLIF などの光学計測結果と燃焼騒音の発生機構を関連付け, 能動的な乱流燃焼制御を実現するために必要な基礎的知見を得ることを目的としている.

昨年度は, 一段階不可逆反応の場合について二次元時間発展反応性圧縮性混合層の DNS をを行い, 音の発生機構に対する発熱の影響を明らかにするとともに, 音響学的アナロジーに基づく予測手法を評価した. 本年度は直接数値計算を三次元に拡張し, 三次元非反応性乱流及び反応性乱流における音の発生機構を明らかにした.

2. 反応性乱流からの音の発生機構

本研究では, 一段階不可逆反応(A+B → 2P)の場合について, 三次元反応性圧縮性混合層の直接数値計算を行い, 自由せん断乱流からの音の発生機構に対する熱発生の影響を検討した.

始めに, 三次元乱流からの音の発生機構を明らかにするために, 非反応性三次元乱流混合層の直接数値計算を行った. 非反応性乱流の場合, 二次元の場合と同様に, Lighthill の音源項の Reynolds stress 成分が最も大きな値を示す. しかし, 二次元の場合には無視できる程小さかった音源項のエントロピー成分が三次元乱流の場合は Reynolds stress 成分と同程度の大きさを示す. また, 二次元混合層では大規模渦構造が音源項の Reynolds stress 成分を支配していたが, 十分発達した乱流混合層では乱流遷移とともに出現するコヒーレント微細渦構造と音源項の Reynolds stress 成分の分布が非常に良く一致する. コヒーレント微細渦は速度勾配テンソルの第二不変量が正の値を持つ領域として近似的に表すことができるが, 非圧縮性の場合に Reynolds stress 成分と速度勾配テンソルの第二不変量は厳密に一致するため(符号は異なる), 三次元乱流ではコヒーレント微細渦が音源項の Reynolds stress 成分を決定する重要な構造となる. また, 発達した乱流場を構成するコヒーレント微細渦周囲には非常に大きな乱流エネルギーの散逸が生じており, これが音源項のエントロピー成分として音の発生の原因となる. このように, 非反応性乱流ではコヒーレント微細渦が音の発生を決定する最も重要な乱流構造であることを明らかにした.

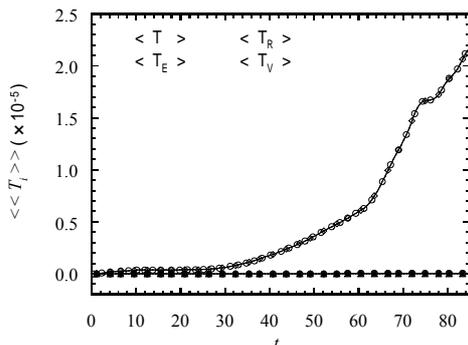


図1 三次元反応性乱流混合層における音源項

三次元反応性乱流混合層では, 二次元の場合と同様に, 音源項のエントロピー成分が支配的であり, Reynolds stress 成分と粘性成分の寄与は小さい(図1). Reynolds stress 成分はエントロピー成分に比べてその大きさは小さいが, その分布は非反応性乱流の場合とほぼ同様にコヒーレント微細渦の空間分布と非常に良く一致している. 図2はエントロピー成分, 熱発生率及びエネルギー散逸率の分布を示している. 二次元の場合と同様に, エントロピー成分は熱発生率が大きな領域と良く一致しており, 三次元の場合でも音の発生は熱発生率に支配されている. しかし, 熱発生率が小さな領域においても, 非反応性乱流の場合と同様にコヒーレント微細渦周囲でエネルギー散逸率が大きな領域でエントロピー成分は有意な値を示す. すなわち, 三次元反応性乱流では熱発生率のみならず, エネルギー散逸率も重要な音源となっている.

昨年度の二次元の場合と同様に, 直接数値計算の結果と音響学的アナロジーによる結果を比較し, 音響学的アナロジーに基づく音場予測手法を評価した. 図3は遠方音場に対する Reynolds stress 成分とエントロピー成分の寄与を示している. エントロピー成分のみを考慮に入れた結果は直接数値計算の結果と良く一致している. しかし, 乱流遷移過程である $t=60$ 付近では Reynolds stress 成分の寄与が大きくなるため, 遠方音場をより正確に予測するには両成分を考慮に入れる必要がある.

3. まとめ

本研究では, 三次元反応性乱流混合層の直接数値計算結果を用いて反応性乱流からの音の発生機構を明らかにするとともに, 音響学的アナロジーによる音場の予測を行った. 今後は, PLIF による CH 分布などの計測結果と熱発生率分布との関係を明らかにするとともに, それらと乱流燃焼場の音響学的特性を関連付けて行く予定である.

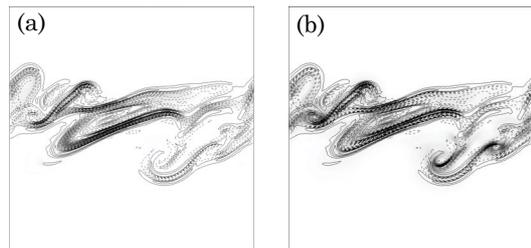


図2 エントロピー成分(等値線)と熱発生率(a)及びエネルギー散逸率(b)

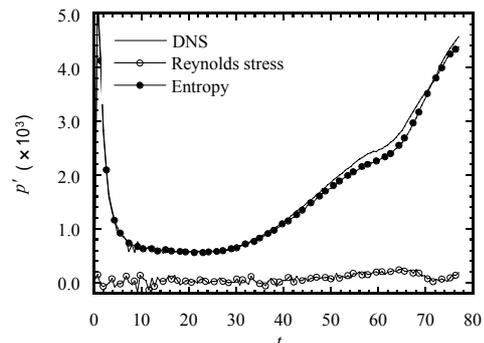


図3 音響学的アナロジーによる遠方音場の予測