

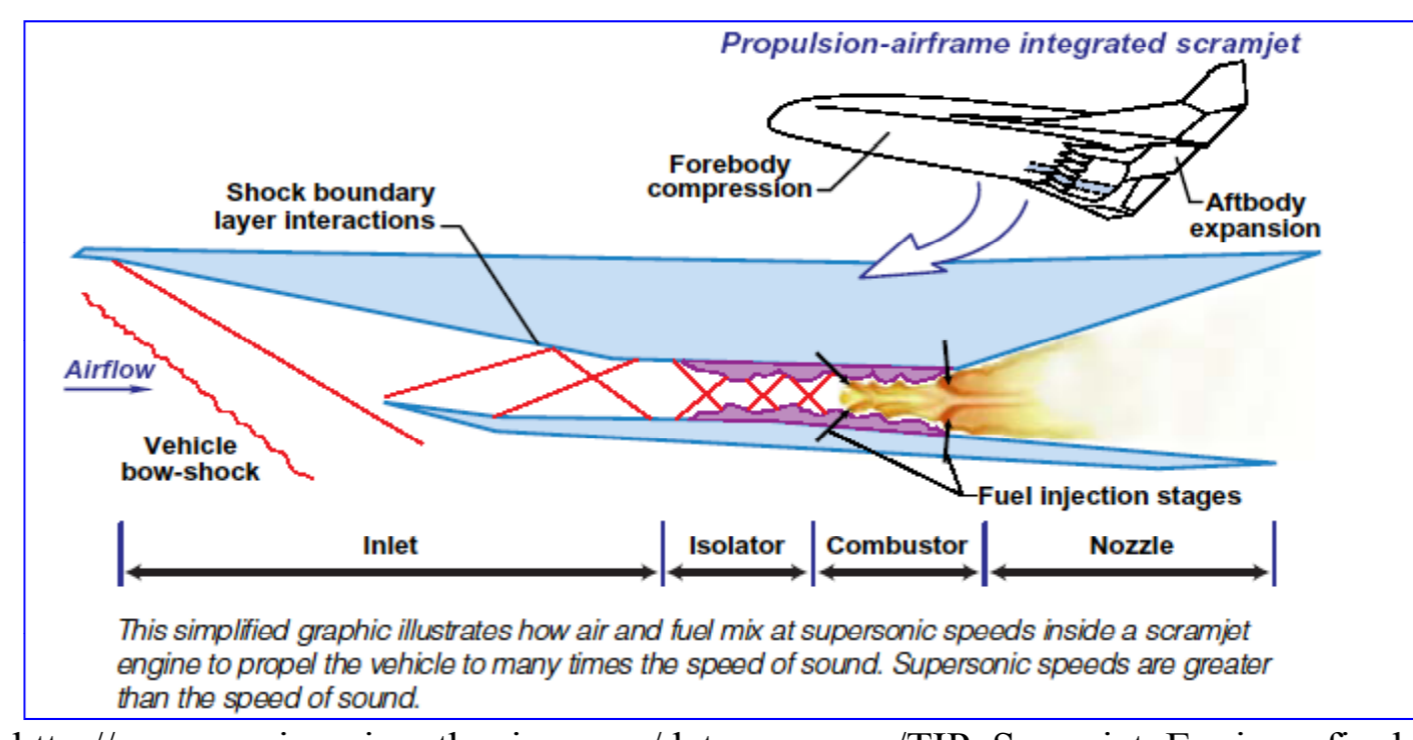
スクラムジェットエンジンにおける超音速乱流燃焼の数値シミュレーション



● 研究の背景と目的

スクラムジェットエンジン(超音速燃焼ラムジェットエンジン)

極超音速飛行時に大気を吸い込み、超音速のまま燃焼器内で噴射した燃料と混合・燃焼させることで推力を発生する。大気を酸化剤として用いるため、従来のロケットエンジンに比べてはるかに高い輸送効率で大量のペイロードを運ぶことができる。スクラムジェットエンジンの最大の技術課題は超音速流中での迅速な燃料の混合、着火・燃焼技術の確立であるが、このためには超音速乱流燃焼メカニズムを把握することが重要となる。しかしながら、超音速燃焼実験設備は大規模にならざるを得ず、実験回数や取得データ数が限られるため、実験データのみから超音速燃焼メカニズムの把握は困難である。



http://www.engineeringatboeing.com/dataresources/TIP_Scramjet_Engines_final.pdf

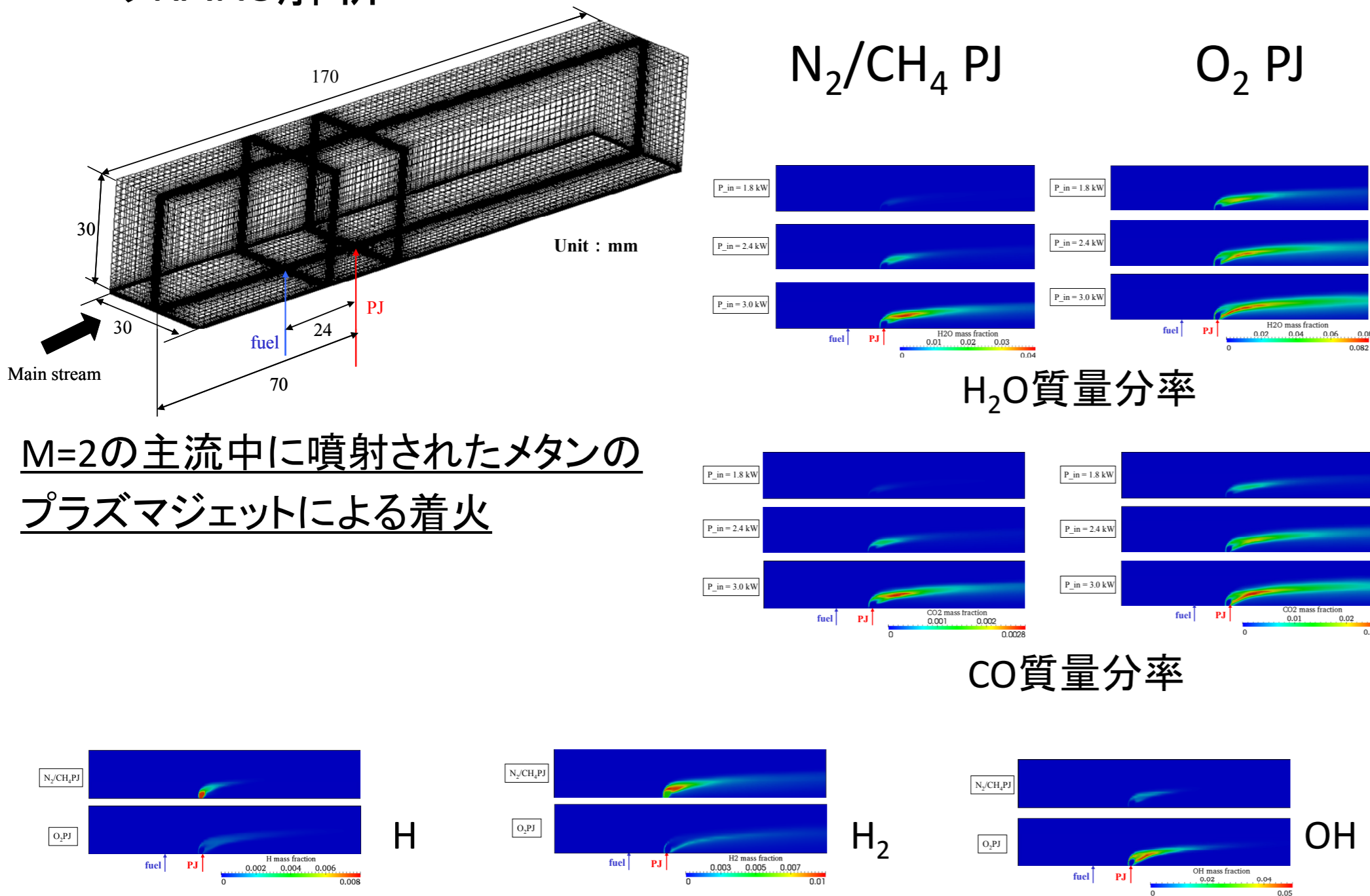
各燃料の詳細反応機構

- 水素(H₂): 化学種数10程度、素反応数30程度
- メタン(CH₄): 化学種数20以上、素反応数100以上
- エチレン(C₂H₄): 化学種数30以上、素反応数200以上

以上の理由で、スクラムジェットエンジン開発には数値シミュレーションが不可欠である。スクラムジェット燃焼器の数値シミュレーションは超音速流中での大規模乱流構造や擬似衝撃波の非定常挙動を精度良く捉えること、水素やエチレン等の気体燃料の素反応ベースまで考慮した反応機構の導入による着火・燃焼現象の解明が必要である。本研究はそれら複雑なスクラムジェットエンジン内の燃焼流の数値解析コードの作成および詳細解析を目的とする。

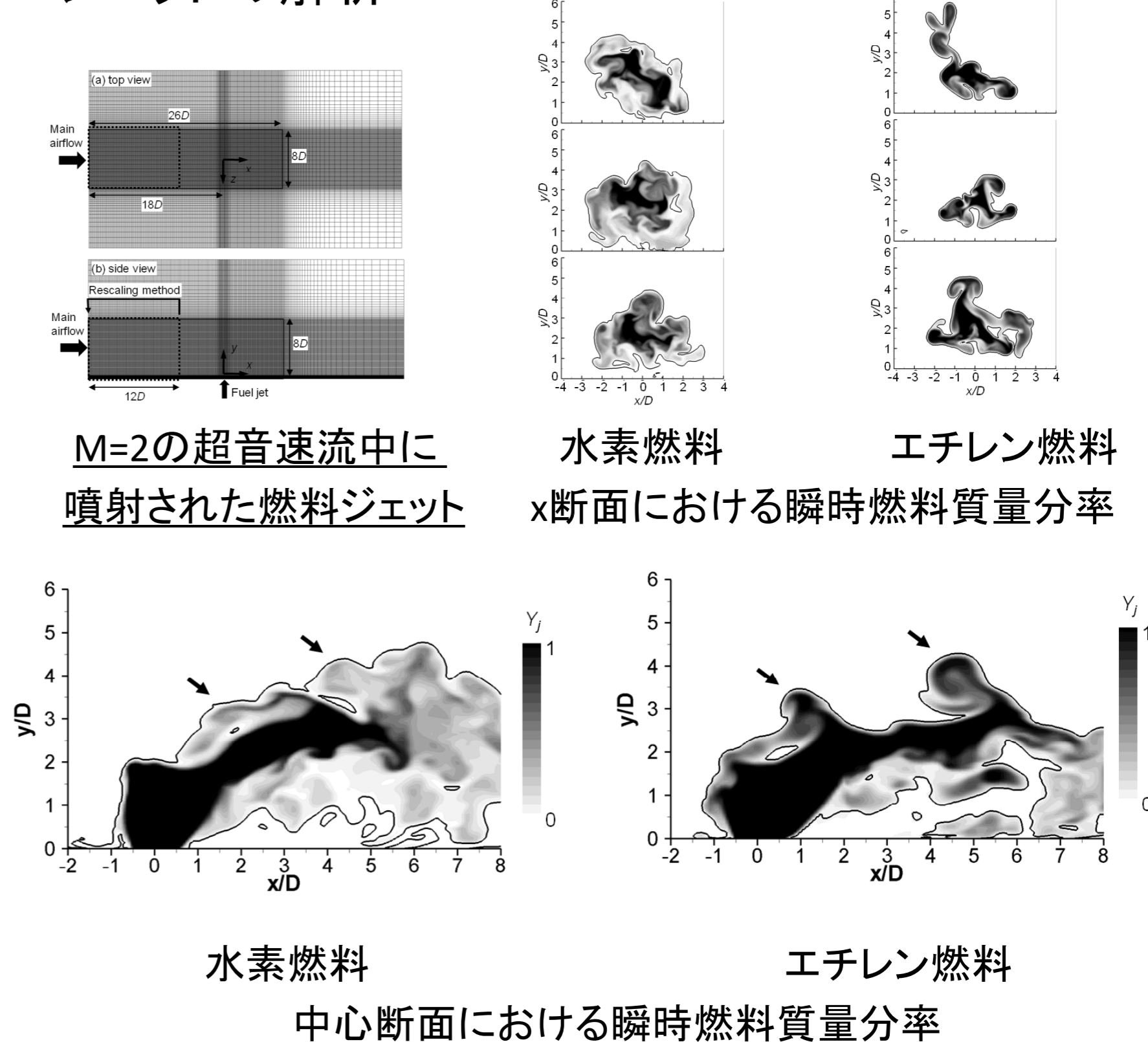
● これまでの研究成果

①メタン燃料の詳細化学反応機構を用いた超音速燃焼のRANS解析



M=2の主流中に噴射されたメタンのプラズマジェットによる着火

②LES解析による超音速流中に噴射された燃料ジェットの解析



M=2の超音速流中に噴射された燃料ジェット

水素燃料 エチレン燃料
x断面における瞬時燃料質量分率

水素燃料 エチレン燃料
中心断面における瞬時燃料質量分率

研究計画

- コードのチューニングによる最適化**
東北大学サイバーサイエンスセンターとの共同研究によるコードの高速化を行う。昨年に引き続き、MPIによる並列化に取り組む。
- 考慮する化学種数、化学反応数の増加**
エンジン実機の燃料として使用されるエチレン燃料の詳細化学反応機構および主要な窒素酸化物(NO, NO₂等)の反応機構の導入を図る。

- LES法の導入による複雑流れ場の解析**
スクラムジェットエンジン内の流れに特有の擬似衝撃波の挙動をLESにより詳細に解析する。
- LES法の反応流(燃焼流)への拡張**
昨年度の研究で開発した非反応流に対するLESコードに反応項を追加し、反応流(燃焼流)を扱えるようにする。これにより、スクラムジェットエンジン内に噴射された主燃料の混合・着火・燃焼過程を解析できる。