

燃焼・乱流シミュレーションデータベース

1. はじめに

(独)宇宙航空研究開発機構(以下、JAXA)、研究開発本部数値解析グループでは、JAXAのスーパーコンピュータシステムを用いて燃焼や乱流に関する大規模で詳細な数値シミュレーションを行ってきた。燃焼、乱流とも非常に微細なスケールから流れの代表的なスケールまでの広い範囲をカバーする必要があるため、極めて大きな計算機資源が必要となる。JAXAでは、その前身の一つである旧航空宇宙技術研究所時代から世界最大級の計算機システムが導入されてきたお陰で、これらの分野で世界と対等に研究を進めることができた。その成果の幾つかは高い評価を受け、国内外からデータの公開の要請を受けてきたところである。現在、2008年度までJAXAにおいて運用されたスーパーコンピュータシステムCeNSS(Central Numerical Simulation System)を用いて取得された燃焼および乱流シミュレーションの結果、およびデータの一部をJAXA公開ホームページ上で公開している。

2. 浮き上がり火炎のシミュレーション

燃焼データベースにおいては、水素噴流浮き上がり火炎のシミュレーション結果の一部を公開している。空気中に噴流として噴出された燃料の燃焼によって形成される燃料噴流拡散火炎は基本的な火炎の一つで、工業的にも広く利用されている火炎である。この火炎において、噴流速度を徐々に上げていくと層流から乱流への遷移が起こり、さらに速度を上げるとノズルに付着していた拡散火炎がノズルから離脱し、ノズルから離れた位置で燃焼が始まるのが知られている。この火炎形態を浮き上がり火炎と呼ぶ。

データを公開する火炎は静止空気中に直径2mmのノズルから噴き出された亜音速水素噴流の燃焼によって得られる浮き上がり火炎である。CeNSS導入時の2004年ごろに得られた計算結果で、水素・空気の反応にかかわる

9化学種の化学反応を含む圧縮性の流れ場を、約2億点の格子点を用いて数値的に再現している。図1は水素噴流の様子とその周りに形成される浮き上がり火炎の構造を示している。浮き上がり火炎は単一構造ではなく、さまざまな燃焼形態の集まりであることが示されている。このように計測で簡単には把握できない情報がシミュレーション結果には多く含まれていると考えられる。データの解析により、濃度こう配がある中での火炎の伝播や安定性、乱流火炎の構造など、さまざまな未解決の燃焼現象の理解が進むことが期待される。

3. 平行平板乱流の直接数値シミュレーション

乱流データベースにおいては、十分に発達した平行平板間乱流および乱流熱伝達の直接数値シミュレーションの結果を公開している。この流れは、航空機などの壁面に接する乱流(壁乱流)の代表的な流れで、乱流輸送現象の予測・解明・制御を目的に、世界各国で数多くの研究が行われている。公開中のデータは、レイノルズ数41400までの高レイノルズ数の乱流統計量である。平均量や乱流強度などの低次統計量から、レイノルズ応力や乱流熱流束の収支などの高次統計量まで、数十種類のデータを公開している。

これらのデータは、燃焼の計算同様に、CeNSS導入時に計算機システムの非常に多くのリソースを用いて得られたもので、レイノルズ数41400(2003年当時世界最高レイノルズ数)の計算には、乱れの最大スケール(平均流に起因する大きな渦)と最小スケール(コルモゴロフ・スケール)の両方を解像するため、約14億点の格子数が用いられた。図2は、レイノルズ数41400の計算の代表的な可視化結果で、高レイノルズ数特有の大規模な低速・高速領域やヘアピン型の渦構造などの乱流構造がとらえられている。公開しているデータの活用により、高レイノルズ数における乱流モデルの開発や乱流計



図1 浮き上がり火炎の構造(白:水素噴流, 濃淡色:予混合火炎, 淡灰色:拡散火炎)

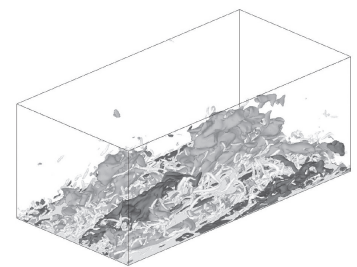


図2 Re=41400の高速(薄灰色), 低速(濃灰色)領域および渦構造(白)

測技術の評価などが期待される。

4. おわりに

今後はデータベースを充実させるとともに、2009年度から本格運用が始まった新スーパーコンピュータシステム(JSS: JAXA Supercomputer System)を用いたシミュレーションにより得られる、さらに詳細で大規模な結果および新しい成果を積極的に世界に発信していきたいと思っている。

<http://www.iat.jaxa.jp/db/index.html>
(原稿受付 2009年5月29日)

[溝淵泰寛, 阿部浩幸 (独)宇宙航空研究開発機構]