

# 平成 27 年度名古屋大学 HPC 計算科学連携 研究プロジェクト成果報告書

研究課題名：超多自由度複雑流動現象解明のための高効率な並列計算コード開発

研究代表者：石原 卓（名古屋大学大学院工学研究科附属計算科学連携教育研究センター）

原始惑星系円盤乱流中の微惑星形成過程、内燃機関における乱流燃焼などの複雑流動現象において、乱流の果たす役割の定性的および定量的理解が必要となってきた。また、それらの複雑流動現象解明のためには、近年発展が著しいスーパーコンピューターを駆使した大規模な直接的数値計算 (DNS) が非常に有効である。そこで本研究では、流れ、計算科学を専門とする研究者の学際的な共同研究により、乱流のカノニカルな問題について高効率な大規模直接数値計算手法の開発およびデータ解析手法の開発を行った。平成 27 年度は特に、(1) 原始惑星系円盤乱流中の微惑星形成過程における鉛直重力の影響の解析、(2) 等温壁のある乱流燃焼の高解像度なコード開発を実施した。得られた成果は以下の通りである。

- (1) ナビエ・ストークス方程式の直接数値計算 (DNS) により、微細な渦の動きまで解像して得られる乱流場中で鉛直重力の働く慣性粒子の運動を数値的に追跡する数値実験を行った。最大格子点数  $1024^3$  の乱流 DNS において慣性と重力の影響の大きさの異なる慣性粒子の追跡を行い、動径分布関数と平均接近速度、および、それらの積で表される衝突頻度を用いて解析した。その結果、粒子は鉛直重力の影響を受け集積の傾向が変化し、平均接近速度は鉛直重力の影響が大きくなると慣性の大きい粒子ほど大きく減少することなどが分かった。また衝突頻度は重力の影響が大きいほど減少する。しかし一方で原始惑星系円盤を想定した場合衝突限界速度以下の粒子が増加するため慣性の大きな粒子は衝突付着頻度が増加することがわかった。
- (2) n-ヘプタンの簡略化学反応メカニズムを用いた自己着火過程の DNS では低温酸化反応の進行に対する流れの影響および等温壁のある場合の流れと着火遅れの関係についての理解が得られていた。しかし、等温壁のある場合には本着火時に計算が発散し、本着火時の等温壁での熱損失の評価ができていなかった。そこで、本研究では、壁垂直方向に非一様格子を導入し、低温壁近傍の急激な温度勾配を解像できるようにコードを改良し、それに適した時間刻みを求めた。これにより、乱流がない場合と弱い場合については解決したが、乱流が強い場合には、壁から離れた内部領域に急激な温度勾配と熱発生が生じ計算が発散した。そこで、壁平行方向にも格子間隔を小さくしたところ、数値解の収束が確認できた。本研究のコード開発により、低温壁がある場合に乱流の強弱によらず本着火終了時まで数値計算ができるようになった。今後は低温壁近傍に発生する急激な温度勾配を伴う燃焼現象の物理を明らかにするとともに、その熱損失への影響を調べる予定である。