

# 平成 24 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）

燃焼，雲，熱対流，プラズマなどの超多自由度複雑流動現象の解明のためには，その複雑さのコアとなっている「乱流」の定性的および定量的理解が重要である．乱流の理解には，近年発展が著しいスーパーコンピュータを駆使した大規模な直接的数値シミュレーション (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の高効率な大規模直接数値計算における手法を発展させ，乱流燃焼，熱対流，プラズマなどの複雑流動現象の解明に向けて，その大規模計算を実現するため，主に，(1) 詳細化学反応および簡略化学反応メカニズムを用いた乱流燃焼，(2) 熱対流乱流，(3) 一様磁場下における平行平板間電磁流体乱流，(4) Volume Penalization (VP) 法を用いた平行平板間乱流について，手法の検討，コード開発、結果の検証を実施した．得られた成果は以下の通りである．

(1) これまでに開発した， $n$ ヘプタンの自己着火過程の 3 次元 DNS コードを用いて，乱流と化学反応の相互作用を理解するための数値実験を実施した．その結果，化学反応による発熱が小スケール渦の発達を抑制すること，および，乱流による混合が温度揺らぎを一様化することを示した．また，自己着火前の低温酸化反応は，強い熱発生率をもつ薄い膜状の領域が高温部から低温部に伝播しながら進行するが，その膜状領域の位置は温度の 870K の等温面にほぼ一致することが分かった．さらに，等温壁がある場合の数値計算コードを開発し，自己着火過程における等温壁の影響を調べた結果，等温壁近傍では通常の低温酸化反応による熱発生と温度上昇が起きないことが分かった．(2) フーリエ・チェビシェフ法を用いた平行平板間乱流 DNS コードを基に前年度開発した，平板間熱対流の DNS コードにおいて，速度と時間の無次元化を見直し，より高いレイリー数 ( $Ra$ ) の計算が安定に行えるように改良した．その結果，格子点数  $256 \times 384 \times 256$  で  $Ra=10^9$  の熱対流 DNS を実現することが出来た．(3) 平行平板間乱流 DNS コードを基に流体方程式にローレンツ力の項の組み込みを行い，平行平板間電磁流体の DNS を実施可能にした．その数値実験の結果，ハルトマン数が 30 の場合に，磁場による抵抗低減が起き，乱流場の時間空間的間欠性が強まることを見いだした．(4) 一様等方性乱流の DNS コードに平行平板境界を表現する VP 項の組み込みを行い，VP 法における浸透率と格子点数の異なるいくつかの数値実験を行った．その結果，平均流，速度揺らぎ，圧力揺らぎ等の統計量は従来の数値計算法によるものと比較して妥当なものであることが確認できた．