

平成 25 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について，高効率な大規模直接数値計算手法の開発を行った．特に，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，(1) 簡略化学反応メカニズムを用いた 3 次元乱流燃焼，(2) 乱流中の慣性粒子追跡，(3) 熱対流乱流，(4) Volume Penalization 法を用いた平行平板間乱流，(4) 一様磁場下における平行平板間電磁流体乱流について，手法の検討，コードの開発，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) n ヘプタンの自己着火過程における乱流の役割を理解するため，簡略化学反応メカニズムに基づく DNS を用いた数値実験データの解析を実施した．その結果，初期温度揺らぎのある温度場の乱流による混合が，温度の最大値の上昇を抑制し予混合気の平均着火時期を遅らせる働きがあることが分かった．また，自己着火前の低温酸化反応は膜状領域で起き，高温部から低温部に移動するが，その移動速度と厚さが温度勾配の減少関数であることが分かった．(2) 領域 2 次元分割のスペクトル法に基づく乱流 DNS コードに並列版 3 次スプライン補間に基づく慣性粒子追跡コードの組み込みを実施した．簡単な数値実験の結果，粒子の慣性の強さに応じて，粒子位置における渦度やストレインの確率密度関数が異なる形状に漸近していく様子が観察できた．(3) 結合コンパクト差分法を用いた平行平板間熱対流乱流 DNS コードの並列版を開発し，その結果の妥当性を確認した．(4) 一様性乱流の DNS コードに平行平板境界を表現する VP 項の組み込みを行ったコードを用いて平行平板間乱流の数値計算を実施し，得られる乱流統計量の検討を行った．(5) 前年度開発した平行平板間電磁流体の DNS コードを用いて，数値実験を行った．その結果，平行平板間電磁流体乱流においては，平行平板間中央部に定常流領域が形成され，壁近傍の乱流域との間に乱流・非乱流界面が観察されることが分かった．