

LES による乱流噴霧燃焼解析

伊藤裕一，谷口伸行

東京大学生産技術研究所第 2 部

目的：

噴霧燃焼はガスタービン，ディーゼルエンジン，火熱炉などの工業用燃焼器に幅広く用いられている．近年の環境問題への対応から，高効率・高出力かつ有害排出物を出さない燃焼器が求められており，このような燃焼器を設計するにあたり，乱流噴霧燃焼流れの数値解析にかかる期待は大きい．また，近年の計算機の発達に伴い，Large Eddy Simulation (LES) による非定常乱流燃焼解析がなされており，本研究ではこれを拡張し乱流噴霧燃焼場に適用することにより，乱流噴霧燃焼場における LES の適用可能性を探ることを目的とし，特に可視化の側面からの考察を行なう．

方法：

乱流噴霧燃焼器を図 1，図 2 のようにモデル化した．図 1 が燃焼器全体図であり，図 2 流入ノズル近傍の拡大図である．燃焼器中心下部から旋回を持った空気が流入し，中心のインジェクタを模擬したノズル（図 2 赤色部）から中空円錐形に燃料液滴が噴射される．計算手法としては，燃焼器内の流れ（速度と圧力）と，局所の燃料ガスと空気の混合率（混合分率）の輸送方程式を Euler 的に解く．具体的には燃料器内を $41 \times 37 \times 101$ に区切りそのセルでの方程式を連立させて，時々刻々の流れの速度や圧力と言った物理量を計算する．噴霧粒子液滴は Lagrange 的に解く．具体的には，計算領域内を飛散する個々の液滴を，その質量，抵抗力，蒸発による影響を考慮しつつ，時々刻々追跡することで表現している．可視化装置として通常は AVS/Express GCE を用いているが，今回は，CAVE システムでの可視化を試みる．

結果：

図 3 に本解析で得られた乱流場の様子を示す．この図から流れは非定常な乱流になっていることがわかる．また，インジェクタ付近には旋回による逆流が発生していることがわかる．図 4 に流入ノズル付近の三次元渦構造を示す．この渦構造は圧力のラプラシアンをとり，その等値面で表現している．この図を見ると，流入ノズルの内側，外側のリムから出る 2 つの渦構造があることがわかる．これらの渦構造はそれぞれ時計回りと反時計回りに運動しながら下流に流れ，そこで 2 つの構造は合体し，急速に崩壊している様子が見てとれる．図 5 に噴霧液滴粒子と蒸発した燃料ガス（と流れ方向速度）の様子を示す．噴霧液滴は最初，自身の持つ慣性で移動するが，抗力の影響と蒸発によってエネルギーを失い，局所流れに沿うようになる．下流へと流れた蒸発燃料ガスは，空気の流れ同様に非定常な乱れた状態になっていることが見て取れる．そうでない蒸発ガスは逆流域に滞留している．図 6 に液滴の運動と渦構造（図 4）の時間履歴を示す（表示の都合上，手前部分の渦構造を削除していることに注意されたい）この図を見ると流れに沿うようになった液滴が渦構造に巻きついて動くような様子が観測された．このように液滴の運動は，局所渦構造に強く影響を受けることがわかる．

結論：

LES による非定常乱流噴霧燃焼解析の結果について CAVE で可視化を行なった．3 次元的な挙動を 3 次元的に可視化することにより，例えば，流れと噴霧の相互干渉などの重要な現象が観察することができた．乱流噴霧燃焼場の挙動の可視化，特に噴霧液滴粒子の可視化においては，AVS/Express GCE や CAVE システムのような立体視システムを利用することで飛躍的に理解が高まる．

また，渦構造の可視化のように，実験的な計測や可視化では得ることのできないものを得ることができるのが数値的な可視化の利点のひとつであると言えよう．



図 1: 燃焼器モデル (全体図)

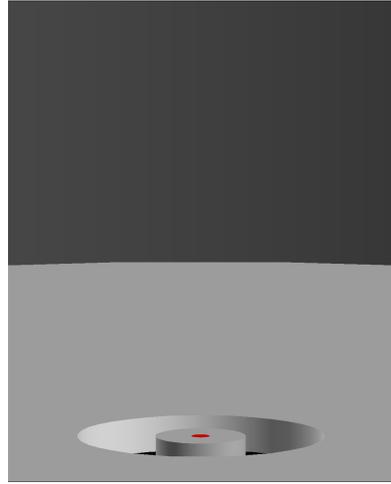


図 2: 燃焼器モデル (流入ノズル近傍)

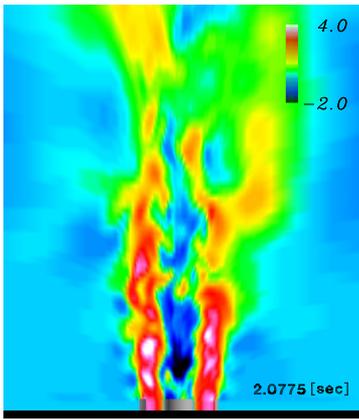


図 3: 非定常乱流流れの様子

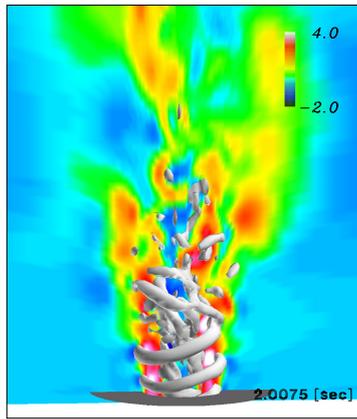


図 4: 渦構造の可視化

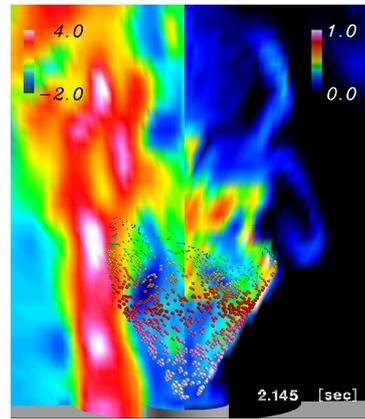


図 5: 燃料ガスの分布

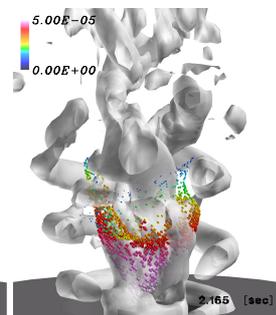
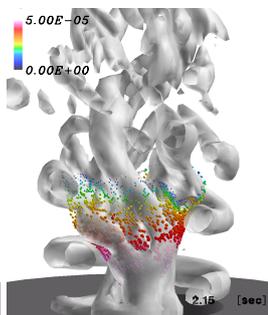
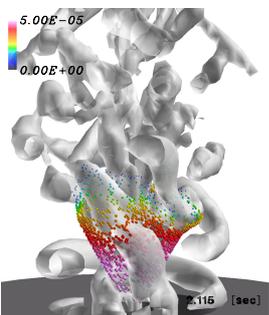
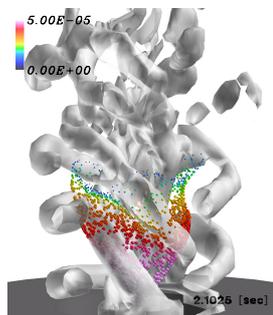


図 6: 渦構造と液滴粒子の挙動の時間履歴